

عمان  
٠٠١٧٨٧

١٢ مزيات ١٩٨٥

١١ ٥٣٠



« حقوق الطبع محفوظة للمؤلف »

منتدى الفيزياء التعليمي

<http://www.hazemsakeek.com>

الطبعة الاولى (يناير) ١٩٦٢

الطبعة الثانية (ابريل) ١٩٦٦

الطبعة الثالثة (ابريل) ١٩٨٠

بيروت

## مقدمة

أذكر اني قرأت قبل سنوات مقالة عن عشرة اشخاص بلبلوا العقل البشري واضاعوا استقراره بأرائهم ومكتشفاتهم ! وكان آينشتاين أحدهم . وقد راقت لي طرافة المقالة ، حتى غدت في كل مرة أطلع فيها بحثاً عن آينشتاين أو ذكراً له ، أتساءل عن مدى الصحة في ذلك القول ، خاصة في زمن تهدد الاسلحة الذرية فيه البشرية بالدمار والفناء - وقد كان لنظريات آينشتاين عن العلاقة بين الطاقة والكتلة فضل كبير في انتاج تلك الاسلحة .

لكني كنت دوماً أجد أن هذا التساؤل لم يكن منبعثاً عن الفكر ومنطقه وإنما عن العاطفة وانفعالاتها ... وانه أشبه بشعور الضائع في الصحراء ، الذي يتمنى لو لم توجد تلك الشمس اللاهبة التي تشوي جسده وتسيله عرقاً . ومع أن الشمس قد تكون المسؤولة عن هلاك ذلك الضائع والمثبات من أمثاله ، لكنها هي التي تهب الحياة والنور لكل البشر والأحياء على مر القرون .

أما الضياع فلا يقتصر على الافراد الهائمين على وجوههم في الصحراء . فآينشتاين قد عانى من الضياع كما عانى سواه ... لقد تمزقت نفسه بين الريف حيث ولد ومضى صباه في طبيعته الشعرية ، والمدينة التي شهدت



شبابه وضايقته بصخبها ومشاكلها .. وتحرر عقله بين تربيته الدينية التي نشأ عليها ، سواء كانت طقوساً إسرائيلية في بيته أو تعاليم كاثوليكية في المدرسة ، والتمرد الفكري على التزم والحمود طوال حياته .. واضطربت كينونته بين تجاربه كيهودي مضطهد منطوي على نفسه ، ورغبته في تحقيق الانسجام مع مجتمعه بتقاليده ومثله ومتطلباته . وما كان لذلك التمزق والحيرة والاضطراب إلا ان يولد في نفس آينشتاين آلاماً .. فيحاول نسيانها في سمفونية موسيقية يهيم في أجوائها ، أو يدفننها في نكتة ساخرة يداعب بها دنياه .

والآلام عنصر أساسي في حياة كل انسان .. لكنها عند افراد معدودين تغدو طاقات خلاقية لكل منها طابعها الخاص .. وتمضي القرون وآثار هؤلاء الافراد على غيرهم وربما على البشرية كلها لاتزول .

وكان آينشتاين عبثياً حين حوّل شعوره بالضيق النفسي إلى رغبة في البحث عن الحقيقة ، وحين أبى أن يذيب توتره الفكري في مشاغل الحياة وإنما جعله قوة دافعة لا تتوقف ما دام قلبه ينبض . وكان طبيعياً أن يبحث عن الحقيقة في المجالات التي هيأتها لها ظروفه .. في خلوة عقلية مع الرياضيات يدرس قوانينها ويرتاد آفاقها ، فقد أدرك ان الرياضيات أقرب من أي شيء آخر إلى الحقيقة الأزلية ، وكذلك في شطحة روحية مع الكون يتعرف إلى ظواهره ويسبر أسرارها ، فقد اكتسب من تثقيفه الديني ودراساته الفلسفية إيماناً عميقاً بوحدة الوجود ، وان كل ما هو موجود جزء من ذلك الكل الأوحد ويخضع لطقوسه كافة ، فلا يمكن تجريد شيء أو ظاهرة عن سائر الاشياء والظواهر ، وإنما يجب اعتبار أي منها بالنسبة إلى غيره .

واستطاع آينشتاين أن يصوغ فلسفته الرياضية ونظرياته في النسبية العامة والخاصة بقوانينها ومعادلاتها ، ليقرر أن لا وجود للزمان المطلق والمكان المطلق ، وإنما هما نسيان . وما الوجود كله وما فيه سوى متصل مكاني

زمني ذي أربعة أبعاد ، على أساس أن الزمان هو البعد الرابع بالإضافة إلى الأبعاد المكانية الثلاثة المعروفة . كما انه وحد الكتلة والطاقة ، وجعل العلاقة الوثيقة بينهما على شكل معادلة رياضية بسيطة . ثم مضى قدماً في سعيه لتوحيد كل أشكال الطاقة المعروفة وربطها بقوانين أساسية يمكن اعتبارها نواميس كونية تقوم عليها هندسة الكون كله ، من الكهارب في الذرات إلى النجوم في المجرات .

ونظريات آينشتاين ليست عمليات رياضية وحسابات معقدة من الأرقام والرموز الجامدة - وان يكن هذا الجزء منها وحده كافٍ لجعل آينشتاين جديراً بتقديرنا واعجابنا ، لما كان له من فضل في تمكيننا من استغلال الطاقة الذرية . لكن نظريات آينشتاين أعظم من ذلك ، لأنها محاولة لتفسير ظواهر الكون على أساس ترابط المادة والطاقة والمكان والزمان في قالب منطقي عماده وحدة الوجود ونظامه الهندسي .

والأهمية القصوى لهذه المحاولة هي أثرها في تطوير نظرة الانسان إلى الوجود وإلى دوره فيه . فمنذ وجد الانسان على هذه الكرة الأرضية ، وهو يتصور نفسه محور الوجود وشغله الشاغل .. فهو سيد الأرض ، والأرض مركز الكون ان لم تكن الكون كله ، وما وجدت الشمس إلا لتسيرها وما وجدت النجوم الا لتزين سقفتها ، وكل شيء أو ظاهرة ما وجدت إلا لأمر متصل بالانسان . فمن حق هذا الانسان ، بصفته سيد الكون ، أن يفرض منطقته وقوانينه عليه وان يتصور حتى الآلهة على شاكلته !

ولما أثبت كوبرنيكس أن الأرض مجرد تابعة للشمس تدور حولها ، ولما تقدم علم الفلك معطياً صورة بسيطة عن مدى اتساع الكون وأن مثل أرضنا فيه كمثل حبة قمح في حقل مليّ بالسنابل ، تضاعفت مكانة الانسان في هذا الكون ، وأصبح أحقر من أن يتصور نفسه سيداً له ، أو حتى شيئاً ذا قيمة في وجود تسوده الفوضى - خاصة بعد ان اضمحلت



الفكرة التقليدية عن الله على صورة البشر . واضحى الأمر كله عبثاً  
مخيفاً ...

وجاء آينشتاين بقوانينه لينفي العبثية عن الكون ، وليثبت ان الظواهر  
الكونية كلها تخضع لقوانين رياضية ثابتة ، هي أشبه بالنواميس الالهية  
تتحكم في الكون الذي غدا وجوداً هندسياً بديعاً ، وحل العبثية والفوضى  
حلت القوانين الرياضية والنظام . وبهذا استطاع الانسان أن يسترد ثقته  
بنفسه ، لا على انه محور الكون ومركز الوجود ، وانما على أساس انه -  
على صغره وضآلة عالمه - جزء مبدع من هذا الكون ، وهو لذلك قادر  
على كشف أسرارهِ واداء أجد دور فيه . وهكذا ندرك وحدة الوجود كله ،  
كما ندرك مكاننا اللائق بنا ، والذي نستطيع ان نظوره كما نشاء على  
مسرح الوجود . وبهذا تمتاز الفلسفة بالعلم خير امتزاج ، فنتسجم  
العقليات التي فلدركها مع الميتافيزيقيات التي نتخيلها ، ويزول إلى الأبد  
الانفصام المرعب بين عقل الانسان المحدود وروحه المنطلقة عبر كل الحدود .  
ويغدو الوجود كله سمفونية رائعة ، لا يكفي أن يتصورها متصوف في  
خلوته ، أو يراها عالم في ابخائه ، وانما يشترك فيها البشر جميعاً ،  
بعقولهم وأرواحهم وسواعدهم . ويكفي آينشتاين عبقرية أن يبين لنا كيف  
نستعمل عقولنا في التعرف إلى الكون وجميع ظواهره ، سواء في نفوسنا أو  
عالمنا أو الكون المحيط بنا ، ثم تفسير هذه الظواهر والتوصل إلى قوانينها ،  
ومن بعد ذلك تطبيقها والتحكم فيها لخير البشر والنظام الكوني .

والكلام عن عبقرية آينشتاين لا يكمل إلا ببضع كلمات عن إنسانيته .  
فهذا الرجل الذي أدرك وحدة الوجود كما لم يدركها أحد قبله ، قد آمن  
بوحدة المجتمع البشري أصدق إيمان ، فلم يسمح للتعصب القومي أو  
الطائفي ان يذيب فرديته المبدعة أو يقيد حريته الفكرية أو على الأقل  
يخفف حماسه لحق كل انسان في ان يكون حراً . فلا الافطار التي أقام  
فيها ، ولا الديانة التي وليد عليها ، بل ولا الأهل والاصحاب الذين

شاركوه أحداث حياته ، استطاعوا أن يحتكروا ولاءه أو يجعلوا انتهاء البيئي  
اليهم انحيازاً كلياً لهم . حتى اغراء الصهيونيين له بأن يكون رئيساً لدولتهم  
لم يكن جوابه عليه سوى الرفض والاستنكار . ومات آينشتاين كما عاش ،  
غير منتم الا إلى المجتمع البشري الواحد ، ومنتمياً إلى الكون كله .

...

كم أود لو استطعت ان أكون راضياً عن نفسي بهذه المقدمة .. فما  
اظن انني استطعت ان أرتفع بها إلى مستوى كتاب الدكتور عبد الرحيم  
بدر ، في فكرته العميقة واسلوبه الساحر . وكل قارئ لهذا الكتاب سيشعر  
كما شعرت ، ان الدكتور بدر قادر على جعله في دقائق معدودات  
صاحبه الاثر لديه ، حتى لو فرقتها مئات الأميال . وان هي إلا  
صفحات حتى تقوى أواصر هذه الصفحة فتزول منها الكلفة ، وإذ بالمؤلف  
والقارئ صديقان حميمان يتبادلان الأسرار ويتبائن المشاكل والمهموم ، حتى  
مشاكل النسبية وهموم الكون تخفها تلك المشاركة الوجدانية وتجعلها  
قصصاً مسلية . وما ينتهي القارئ من الكتاب إلا ويجد أن الكلفة لم بعد  
لها وجود حتى بينه وبين آينشتاين ، ويخيل اليه انه يضع يده بيديه ليسيرا  
رفيقين متفاهمين على درب النسبية عبر هذا الكتاب الذي يتحدث عن  
أربعة أبعاد ، لكنه يتخطى كل الأبعاد ليحقق التفاهم والانسجام بين  
القارئ والمؤلف وآينشتاين .

نابلس ٢٣-٩-١٩٦١

الدكتور وليد قحاي

١٩٦١



## النظرية الغربية

لست أعلم - فيما أعلم - عن رجل دوى العالم بشهرته العلمية أثناء حياته وصار يضرب به المثل في العبقرية كآينشتاين . فمن المعروف عادة ان عباقرة العلم والأدب والفن - أو على الأصح الكثير منهم - يعيشون حياة نضال وكفاح مريرين ، ويكونون مغمورين ، ومنهم من لا يعلم بقيمته أحد أثناء حياته . فقد انتحر الرسام فان جوخ Van Gogh يأساً في ربيع حياته . ومندل صاحب قانون الوراثة لم يعرف أحد أنه مكتشف هذا القانون حتى بعد حوالي نصف قرن من وفاته . والطبيب العربي ابن تقيس الذي اكتشف الدورة الدموية في جسم الانسان لا يزال مجهولاً حتى الآن ، ولا يزال الطب يعزو هذا الاكتشاف إلى هارفي Harvey . وأمثلة ذلك كثيرة لا حصر لها .

غير ان آينشتاين عاش عبقرياً أجمع علماء عصره على عبقريته ، وبلغ اسمى مراتب المجد العلمي ، وتبارى كبار العلماء في الدفاع عن نظريته وتفسيرها والرد على النفر القليل الذين حاولوا أن يغمزوا فيها أو أن يضعوها في موضع الشك . كل هذا كان يحدث أمام عينيه منذ أن نشر النظرية حتى مات .

كل هذا ليس غريباً حتى الآن ، لأننا نعرف أيضاً كثيراً من العباقرة



والعطاء يبلغون مراتب عالية نتيجة مجهودهم الفكري أو الفني ، كأديسون وبيكاسو وابن سينا والمتنبي ، فيجدون من المجتمع تقديراً لهم لما قدموه له . لكن المجتمع عندما كان يقدر هؤلاء كان يدرك مباشرة قيمة ما يقدمون ، وكان يتأخر في ادراك ما قدمه المغمورون منهم ، أي أنه أولاً وآخرأ كان يدرك بعض الادراك أو كانه نوع المجهود الذي قدم اليه إن عاجلاً أو آجلاً . فعندما يصف المجتمع اديسون بالعبقريه يفعل ذلك لأنه يرى الاختراعات العديدة التي قدمها له ، والنور الكهربائي الذي يقرأ عليه القارئ الآن هو أحدها . وكذلك بيكاسو الرسام الشهير ، فهو يجد اقبالا من المجتمع على شراء لوحاته ، ويرى لها صورا بين الحين والآخر في الكتب والمجلات ، فيعجب بها البعض فرفعونه إلى درجة العبقريه ولا تعجب البعض الآخر فيشاغبون عليه ، أي أنهم يجدون شيئا من انتاجه يفهمونه بشكل من الاشكال ويصدرون أحكامهم عليه . وابن سينا الطبيب ألف كتاب « القانون في الطب » الذي كان يدرس في جامعات أوروبا حتى ما قبل قرنين من الزمن . والمتنبي نقرأ قصائده ونناقشها ونجد من يعجب به ويحبه ويضعه في مصاف العباقرة ، ونجد من يحمل عليه وينقده . أي اننا نجد شيئا من انتاج هؤلاء نستطيع أن ندرك بعضه أو كله ، ونحكم عليه الحكم الذي يروق لنا . وقد يختلف حكم إنسان عن الآخر - وهذا ما يحدث دائما - فتثور المجادلات والمناظرات حول اختلاف وجهات النظر هذه .

غير ان آينشتاين ليس كهؤلاء . فعبقريته أمر مفروغ منه ، ولكن عن ماذا نتحدث هذه العبقريه ؟ وما هو الذي قدمه آينشتاين ؟ وما قيمة هذا الذي قدمه ؟ وفي أي موضوع يتكلم ؟ قل من يدري . كل ما هو معروف عنه أنه واضع النظرية النسبية ، وأن العلماء الكبار يقولون إنه عبقرى . وقد توجد بعض الكتب أو المقالات التي تتحدث في هذه النظرية ، لكن ما يكاد المرء يبدأ بالقراءة فيها حتى يجد نفسه

في بحر من الألغاز لا قرارة له ، فيمسك عن القراءة إلا من أوتي من الجلد والصبر والعلم ما يمكنه من المتابعة .

يذكرني هذا بطريقة قرائها في إحدى الجرائد ( والطرف كثيرة حول امثال آينشتاين ) ، خلاصتها أنه كان يقف في هوليود في احد الشوارع مع شارلي تشابلن فتجمع حولها بعض المارة ، فقال آينشتاين لتشابيلن : « لقد تجمع الناس لينظروا إلى عبقرى يفهمونه تمام الفهم وهو أنت ، وعبقرى لا يفهمون من أمره شيئا وهو أنا » ، والطرفة إن لم تكن حقيقة فهي تعبير عن الحقيقة .

إذن ، فما هي هذه النظرية النسبية التي ملأت العالم وشغلت الناس ؟

سنحاول في هذا الكتاب أن نسير فيها خطوة خطوة ، فلعلنا نصل إلى استيعاب فكرة عنها .

إنها نظرية فيزيائية ( طبيعية ) تبحث في مواضيع من التي تبحثها الفيزياء العادية ، كالزمان والمكان والسرعة والكتلة والجاذبية والتسارع ، ولكنها تنظر إلى هذه الأمور بوجهة نظر أخرى .

إذا كنت أيها القارئ قد درست شيئا ولو بسيطاً جداً من الطبيعيات - أو : تلك التي تدرس في الصفوف الثانوية الدنيا ، فسوف نسير معاً ضمن صفحات هذا الكتاب على أساس من التضاهم المعقول بحيث نستوعب فكرة هي أقرب ما تكون إلى الوضوح من النظرية النسبية . وسوف تدرك خطل رأي من يقولون بأن هناك عشرة في العالم يفهمون هذه النظرية ولا يستطيع أحد أن يفهمها لصعوبتها غير هؤلاء .

وأرجو أن لا تفهم من كلامي هذا انك ستصبح قادراً على حل مسائلها المعقدة ومشاكلها العويصة ، فهذه تحتاج إلى بعض الرياضيات العليا ، وهي غير داخله ضمن المستوى الذي يبحث فيه هذا الكتاب . ولكن هذا كله لا يمنع من أن تحمل فكرة واضحة عن النظرية النسبية



وعن الامور التي تطرقها والكيفية التي تعالجها بها .  
إنك قد درست في المدرسة مثلاً التاريخ والجغرافيا والطبيعات والرياضيات ،  
وتعرف الآن المواضيع التي تعالجها هذه الدراسات وباستطاعتك أن تتابع  
الدراسة في أي موضوع شئت . إنك لا تستطيع ان تدعي بأنك ضليع  
في جميع هذه العلوم متبحر فيها ، ولكنك تستطيع أن تقول  
بأنك تحمل فكرة عنها ، وقد يكون فيها من الوضوح الشيء  
الكثير ..

وبالمثل ، فإن هدف هذا الكتاب هو أن يجعلك تحمل فكرة عن  
النظرية النسبية ، تحاول جهدنا أن تكون فكرة واضحة ، فلا تعود تظن  
أنها من الصعوبة بمكان عظيم بحيث لا يتسنى فهمها إلا لأشخاص  
موهوبين .

وقد تكون غرابة النظرية النسبية هي التي توحي بأنها صعبة عبيرة  
الفهم ، والواقع اننا إذا فهمنا الفرضيات التي تقوم عليها النظرية  
واستوعبناها فإننا سنجد أنها من السهولة على قدر وفير . وسوف ننساق  
في آفاقها الغريبة واجدين فيها من المتعة ما لا يتيسر لنا في مواضيع اخرى  
علمية كانت أو أدبية .

### الابعاد في النظرية النسبية

من مميزات النظرية النسبية أنها تعتقد أن العالم مكون من أربعة ابعاد .  
إذن لتدرج شيئاً فشيئاً مبتدئين من البعد الواحد .  
إن الحيوان الخائض إذا رأى طعاماً على بعد معين منه سار اليه . والبعد  
هنا هو البعد بين الحيوان والطعام . وأظن - وإن كنت غير واسع  
الاطلاع على نفسية الحيوان - أنه يدرك بينه وبين نفسه بعد طعامه عنه .  
واستطيع أن أؤكد هذا على الاقل في الكلب الذي يقفز فائحاً فمه للقمعة

ترمى اليه ، فيلتقطها ببراعة ، وتكون فتحة فمه في اللحظة التي تصل فيها  
القمعة اليه . ولا شك انه بارع في تقدير البعد وتقدير سرعة القمعة . إن  
براعة كهذه ملحوظة في القطط أيضاً حين تتسابق على قطعة عظم . ولا  
بد للحيوان من استيعاب البعد الواحد للوصول إلى طعامه . وإذا كان الحمار  
يفعل ذلك فبجهد جهيد . فالحيوانات إذن ، ذات مفاهيم من بعد واحد  
فقط ، وهي لا تحتاج إلى أكثر من ذلك .

وقد كان الانسان - على ذمة داروين - حيواناً كهذه الحيوانات قبل  
ملايين السنين . إذن كان يدرك ببعد واحد . ولكن حاجته فيما بعد ،  
وخاصة عندما ابتداء يستغل الأرض ، جعلته بحسب المساحات ، أي  
أصبح بحسب طول الأرض وعرضها . وبذلك أصبحت مفاهيم ذات  
بعدين : أحدهما الطول والآخر العرض . والهندسة الاقليدية التي نتعلمها  
في المدارس حتى الآن والتي تسمى الهندسة المستوية تبحث في السطوح  
( ولهذا تسمى مستوية ) وهي ذات بعدين فقط . فالثلث وشبه المنحرف  
والمستطيل والمربع والدائرة لا تحتاج إلى أكثر من بعدين لحساب  
مساحتها .

ولما احتاج الإنسان إلى البناء أخذ يفكر وبحسب في البعد الثالث الذي  
هو الارتفاع . ولما تقدم العلم أخذ هذه الأبعاد أساساً في حساباته الهندسية  
والرياضية ، وأصبح حتى مطلع القرن العشرين يعتبر أن العالم مكون من  
ابعاد ثلاثة هي الطول والعرض والارتفاع ، وهي كافية لحل كل المسائل  
التي تعترضه . ولا تزال المسائل على سطح الكرة الارضية تحل بهندسة  
الابعاد الثلاثة ، وهذه الهندسة كافية لها .

ولا يزال الانسان حتى الآن إذا فكر بطبيعته في حساب حجم أي  
شيء ملموس أو مرئي فإنه يفكر فيه على أن له أبعاداً ثلاثة ، الطول  
والعرض والارتفاع ( وما اشتق منها طبعاً من خطوط منحرفة أو منحنية في  
حساب المخروط أو الكرة وما إلى ذلك ) . المهم في الأمر ان الانسان



لا يفكر في إيجاد بعد رابع .

ولكن أينشتاين فعل ذلك .

فقال إن الكون الذي نعيش فيه هو ذو أربعة أبعاد لا ثلاثة كما تقول الفيزياء الكلاسيكية . وهذه الأبعاد الأربعة هي الطول والعرض والارتفاع والزمن . وإذا قال ذلك كان عليه أن يدخل الزمن في الحسابات الهندسية كعامل رابع مع العوامل الثلاثة الأخرى . وهذا ما فعل .

وتروى عنه طرفة أخرى بهذه المناسبة . كان في حفل يضم جمعاً من السيدات ، فسألته سيدة جميلة قائلة : « بالله عليك قل لي كيف تستطيع أن تتصور العالم بأربعة أبعاد ؟ أنا لا أستطيع أن أتصوره إلا بثلاثة فقط . » فأجابها قائلاً : « أنت مخطئة يا سيدتي ، فأنا لا أتصوره الآن إلا ببعد واحد فقط هو الذي يفصل ما بيني وبينك . » إن عالم البعد الواحد بسيط جداً بالنسبة لتفكيرنا ، والطفل الصغير إذا أمسك بالقلم أول ما يمسك فإنه يرسم خطاً ، أي يرسم بعداً واحداً .

وعالم البعدين بسيط أيضاً . ومن السهل تصوره في المخيلة ورسمه على الورق .

أما عالم الأبعاد الثلاثة فهو العالم الذي نعيش فيه ونحن منه ، وهو ما نراه بأعيننا ونلمسه بأيدينا . ومن السهل رسمه على الورق إذا أضفينا على الرسم بعض الظلال للدلالة على البعد الثالث . ومن السهل تخيله أيضاً . ويكثر التخيل عند العاشقين ، والمحبوب الذي لا يملكون التمتع بطيفه هو كائن ذو ثلاثة أبعاد .

أما عالم الأبعاد الأربعة التي تقول النسبية أننا نعيش فيه حقيقة ، فكيف يمكن أن نتصوره ؟ وكيف يمكن أن نرسمه ؟ وكيف نرسم الزمن كبعد رابع في الصورة ؟ وهل يصور الزمن أساساً ما دمننا لا نراه بأعيننا ؟

أعزني عقلك ...

وإذا كانت النظرية النسبية هي وجهة نظر في هندسة الكون على اعتباره مكوناً من أربعة أبعاد ، كان معنى ذلك أن لها مفاهيم وحسابات خاصة بها . وحساباتها بالطبع سوف تكون أشد تعقيداً من حسابات الفيزياء الكلاسيكية التي ترى أن هندسة الكون من ثلاثة أبعاد . وليس المقصد من هذا الكتاب - كما قلنا - هو الخوض في تلك التعقيدات ، إنما المقصد هو أن نعطي فكرة عن مفاهيمها وقوانينها الأساسية وسنحاول أن تكون الفكرة واضحة سهلة ، وإذا تمكنا من ذلك دون الابتعاد عن الحقيقة فإننا إذن لناجحون .

### لماذا سميت بالنظرية النسبية ؟

لكل علم من العلوم التجريبية مقاييس وعبارة يستند عليها أثناء اجراء التجارب والقيام بالعمليات الحسابية . فالفيزياء والهندسة تتخذان المتر أو اليارد مقياساً للبعد الواحد . وهذا المقياس ، في نظر الفيزيائي والمهندس وفي نظري ونظرك ، يدل على بعد معين ثابت لا يتغير . وإذا حدث أن تغير طول المقياس بارتفاع درجة الحرارة وتمدد المادة التي هو مصنوع منها ، فباستطاعة المهندس أو الفيزيائي أن يحسب مقدار التمدد ويعرف البعد الأصلي الذي يجب أن يدل عليه المقياس في درجة الحرارة العادية . أي أن البعد الذي يدل عليه المقياس معروف دائماً ، ثابت دائماً . ولم يكن يمر في خلد المهندس أو الفيزيائي أن هذا المتر أو اليارد الذي يحمله ويقيس به يتغير ما بين لحظة وأخرى ، فقد يكون نصف متر أو ربع متر أو أكثر أو أقل ، وأن ثبات مقاييس الأبعاد لا وجود لها في هذا الكون بحسب النظرية النسبية .

وكذلك الكتلة التي يعرفها الفيزيائيون بأنها المادة الموجودة في حجم



معين . ففي السنتيمتر المكعب الواحد توجد كتلة من الماء مقدارها جرام واحد (على درجة الحرارة المعيارية) . وكتلة الماء هذه قد يزيد وزنها إذا حملناها إلى غور نهر الأردن وانخفضنا بها عن مستوى سطح البحر ، وقد ينقص وزنها إذا حملناها إلى قمة جبل صين . والفيزيائي يفهم أن وزن الكتلة هو في حدود جرام واحد ، والجاذبية الأرضية هي التي تزيده قليلاً أو تنقصه قليلاً بحسب بعد الكتلة عن مركز الجاذبية الأرضية . ولكن لم يكن يخطر ببال الفيزيائي يوماً من الأيام أن هذه الكتلة قد تتخلل عن تأثير أية جاذبية مهما كانت ويصبح وزنها جرامات عديدة قد تبلغ الألوف أو أكثر .

ولو ركب فيزيائي كلاسيكي الطائرة من بيروت إلى عمان وكانت سرعة الطائرة اربعمئة ميل في الساعة واستغرقت رحلته ساعة من الزمن وسأله أن يصف لك هذه الرحلة بمفاهيمه الفيزيائية لقال إن الطائرة اقلعت من مطار بيروت بسرعة اربعمئة ميل واتجهت إلى الجنوب الشرقي ، ولاستطاع أن يحدد لك الاتجاه بالدرجات ، حتى وصلت إلى مطار عمان فهبطت فيه واستغرقت الرحلة ساعة من الزمن . ولن يخطر بباله أن يقول لك إن عمان هي التي اتجهت إليه أو أن الاتجاهات الاربعة متغيرة غير ثابتة وأن السرعة التي كان يسير بها أقل من اربعمئة ميل بكثير أو أكثر بكثير ، لا سيما وقد كان يقرأ عداد السرعة أثناء طيرانه ، وأن الفترة التي بدأت بإقلاع الطائرة من مطار بيروت وانتهت بهبوطها في مطار عمان قد تكون أكثر بكثير من ساعة وقد تكون بضعة أيام وقد تكون أقل من ساعة بكثير .

إن مقاييس الابعاد (بما في ذلك المساحات والحجوم) ، والكتلة والمكان والزمان والحركة (أي السرعة) هي مقاييس معروفة لها معايير مطلقة لا جدال فيها في نظر الفيزيائي الكلاسيكي ، وفي نظري ونظرك أيها القارئ . فالتر أو اليارد (ومشتقاتها) لقياس البعد ، ومنهما المتر

المربع والمكعب وكذلك اليارد المربع والمكعب . والجرام أو الرطل الانكليزي لقياس الكتلة والوزن . والجهات الأربع وخطوط العرض والطول تحدد المكان ، والساعة تحدد الزمان . وإذا قطع شيء مسافة معينة في فترة معينة من الزمن يقول الفيزيائي أن سرعة ذلك الشيء كذا متراً في الدقيقة مثلاً ، في الاتجاه الفلاني .

لا أظن أن هناك خلافاً حول هذا الحديث كله بين القارئ والكاتب من ناحية وبين الفيزيائي الكلاسيكي من ناحية أخرى ، بل قد يتساءل القارئ عن فائدة هذا الكلام وهو مفهوم جداً لديه . وهل هناك شك في طول المتر أو الفترة التي تحددها الساعة (إذا كانت مضبوطة طبعاً) ؟

أجل ، أيها القارئ الكريم ، هناك ضرورة ماسة لذكر هذا كله . لأن السيد آينشتاين لا يعجبه شيء من هذه المفاهيم وينظر إلينا نظرة عطف واشفاق وكأنه يقول : « إنكم مساكين تفكرون في عالم ذي ثلاثة ابعاد فقط ، أما العالم الذي نعيش فيه في الواقع فهو ذو اربعة ابعاد . تفكرون بعالم ثابت ، لكنه في الواقع متغير ، ليس فيه مقياس مطلق غير مقياس واحد فقط ، أما بقية المقاييس فهي متغيرة بالنسبة لمن يشاهدها ويقسها » . وهكذا فإن آينشتاين ينفي وجود شيء ثابت في هذا الكون (عدا شيء واحد) ، ويرى أن كل المقاييس نسبية ، أي أنها تدل على مقدار معين بالنسبة لمن يشاهدها فقط ، والأشياء نفسها تبدو بمقدار معين آخر بالنسبة لمشاهد آخر . وهذه المقاييس تشمل مقاييس الابعاد والحجوم والكتلة والمكان والزمان والحركة والسرعة .. الخ ... وسنرى فيما يلي من هذا الكتاب أموراً قد تكون غريبة علينا كل الغرابة . فسوف نجد أن المتر المعياري المطلق المعروف عندنا في هذه الكرة الأرضية بأنه يدل على مسافة معينة هي مئة سنتيمتر قد يقسها مشاهد ماراً بسرعة خارقة في صاروخ بالقرب من الأرض فيجد أن طوله ثمانون سنتيمتراً فقط ،



ومشاهد آخر مارّ في صاروخ أكثر سرعة قد يجد طوله خمسين سنتيمتراً ، ومشاهد ثالث في صاروخ سائر بسرعة تقارب سرعة الضوء يجد أن طوله بضعة سنتيمترات ، ولو أمكن لمشاهد أن يسير بسرعة الضوء ( وهذا مستحيل ) سيجد أن طوله صفر - أي لا طول له . ولا يرجع هذا الاختلاف بين المشاهدين لخطأ في آلات الرصد التي يستعملونها ، فمن المفروض في كلامنا هذا أنهم يحملون آلات أوتوماتيكية دقيقة معصومة عن الخطأ . ( والعصمة لله وحده ) ولكن تبسيط النظرية النسبية بحوجتنا إلى استعمال تعابير كهذه ) . بل إن طول المتر يختلف اختلافاً ضئيلاً ما بين أيدينا ونحن نحمله إذا ما وضعنا محوره مرةً باتجاه دوران الأرض ومرةً أخرى جعلنا محوره عمودياً على اتجاه دورانها .

فالشئ الواحد قد يقيسه عدّة مشاهدين في وقت واحد من محلات مختلفة وكل واحد منهم يسير بسرعة تختلف عن الآخر ، ويعطينا كل واحد منهم نتيجة قياسه ، فإذا بها نتائج مختلفة لطول الشئ نفسه . ويكون كل واحد منهم مصيباً ونقول له : « أحسنت . جوابك صحيح » .

إذن فالقياسات هي بالنسبة لمن يشاهدها . ولهذا سميت بالنظرية النسبية .

أما الشئ الوحيد الثابت الذي يتركز عليه آينشتين في نظريته ، فهو سرعة الضوء . حتى في هذا الشئ فإنه يرينا العجب العجيب ... ولكننا سنتحدث عن الضوء فيما بعد . أما الآن فلنتابع حديثنا بسرعة أبطأ من سرعة الضوء .

يقول البعض أحياناً أن كل شئ نسبي في مجالات يقصدون بها وجود المادة أو عدم وجودها . إن النسبية لا تنفي حقيقة وجود المادة كما يتصورون ، إنما تذكر مؤكدين بأنها تعني أن القياسات التي يسجلها المشاهد بأدق الآلات لشئ معين تختلف باختلاف حركة المشاهد بالنسبة

لشئ المقاس . أما مادّة الشئ المقاس فهي موجودة لا شك فيها وليست هي موضع البحث . والقياسات المختلفة للشئ الواحد كلتها صحيحة . ولا يوجد في الكون مقياس معياري يمكن أن نعتبره المقياس الأصل للطول أو الكتلة أو الزمن أو ما إلى ذلك من المقاييس ، ووجود مقياس معياري أصيل يصبح في الامكان لو وجدنا شيئاً ثابتاً ثبوتاً حقيقياً ، في مكان معين يقيسه مشاهد ثابت ثبوتاً حقيقياً في مكان معين أيضاً . ولكن الثبات في مكان معين شئ لا وجود له في هذا الكون . فكل شئ في الكون متحرك ، دائب الحركة ، فالكتاب الذي يحسكه القارئ الآن بيده ثابت بالنسبة له ، والقارئ ثابت بالنسبة للأرض ، ولكنها بالنسبة للكون متحركان .

لاني لأرجو أن لا يكون في الصفحات القليلة السابقة ما يشبط عزم القارئ عن متابعة القراءة في هذا الكتاب . فالواقع أنها شبه خلاصة لكثير من المواضيع التي سوف نبحثها معاً ، ذكرناها لمجرد إعطاء فكرة عما ننوي بحثه ، لذلك سوف تبدو له عسيرة صعبة الفهم لأنها ذكرت في هذا العرض السريع . لكنني أطمئن القارئ بالألا بأن كل ما ورد سيبحث بشكل أبسط وأسهل ، آملاً أن تصبح النظرية على جانب كبير من الوضوح .



## المكان في النسبية

لاني أرى أن تسلسل الحديث قد قادنا إلى موضوع المكان .  
إن المرء ليغبط الإنسان الذي عاش في العصور القديمة أو العصور  
المتوسطة على مفاهيم الثبات التي كان يحملها عن نفسه وعلى ثقته في العالم  
الذي كان يعيش فيه . كان يعتبر أن الأرض التي يعيش عليها هي مركز  
الكون ، وهو الأمر المسيطر في هذا المركز . والشمس والقمر والنجوم  
كلها تدور حوله . ولا شك أن إيمانه في نفسه كان إيماناً عظيماً . وهل  
هناك أجمل من أن يرى الإنسان نفسه الجوهر الكريم في العالم الذي يحيط  
به ؟ لكن كوبرنيكس - جزاه الله خيراً - لم يترك الأمور سائرة في  
السبيل السوي الذي كانت تسير فيه . فأعلن للملا بأن الأرض تابع  
يدور حول الشمس كما تدور بقية الكواكب الأخرى ، وأن الشمس هي  
مركزنا لا الأرض . لقد تزعزع إيمان الإنسان بقيمته في هذا الكون ،  
لكنه ظل يرى أن الشمس هي مركز الكون ، وفي هذا بعض العزاء ،  
فنحن والشمس عائلة واحدة ، لا تكليف بيننا وهي أمنا الحنون . لكن  
يظهر أن العلم لا يترك مجالاً لهدوء البال . فقد تابع الفلكيون واشتغلت  
التليسكوبات والمراصد ، وإذا بعلم الفلك يقول إن الشمس ما هي إلا  
نجم متوسط الحجم من نجوم مجرة « درب التبانة » التي يبلغ عددها

مئة ألف مليون نجم تقريباً .... ومن لا يصدق فليعدها بنفسه ! ولو قالوا  
بأن الشمس واقعة في منتصف المجرة وأنها في المركز ، لكان الأمر هيناً  
خفيف الوقع ، ولا ريب في أن إيمان الإنسان بقيمته سيظل على ما كان  
عليه ، ولكنهم وجدوا أنها واقعة قرب الطرف ، في موقع مدحور ، ليس  
من العظمة في شيء .

ولم يقف الأمر عند هذا الحد ، بل وجدوا أن هناك من المجرات  
في الكون بعدد النجوم الموجودة في « مجرتنا درب التبانة » . فما هي القيمة  
التي بقيت للإنسان المسكين ؟ وما مركزه في هذا الكون ؟ إنه لشيء ضئيل  
حقاً ... وليته يدرك ذلك .

وليس هذا كل ما في الأمر . فعندما كان الإنسان يعتقد بأن الأرض  
مركز الكون كان يعتبر أنها ثابتة في موضعها لا تتزعزع . ولا شك في أن  
شعوره بعظمته يبلغ الأوج حينما يرى أن النجوم والشمس والقمر تدور  
حوله وهو متربع على الأرض المسيطر عليها . هو ثابت وأرضه ثابتة ، أما  
خدمه وأتباعه - النجوم والشمس والقمر - فهي التي تتعب نفسها إكراماً  
له واعتزازاً بعظمته واجلالاً لقدره .

لكن هذا كله كان حلاًماً . فقد بين العلم الحديث أنه غير صحيح  
وأن عظمته ما هي إلا عظمة جوفاء . فثباته نسبي ، أي بالنسبة لسطح  
الأرض التي يعيش عليها فقط لا غير ( كما يكتبون في مستندات الدينون ) .  
أما في الواقع فهو يتحرك . وبها لها من حركة سريعة جداً ، هائلة جداً .  
يتحرك مع سطح الأرض والأرض نفسها - الأرض الثابتة تحت أقدامه ...  
وليته يتحرك حركة واحدة أو اثنتين ، إذن يهون الأمر ويسهل الحساب ،  
إنما يتحرك حركات متعددة جداً في آن واحد .

فهو يتحرك مع سطح الأرض حين تدور حول نفسها . وسرعته باتجاه  
دورانها تبلغ ربع الميل في الثانية ( أي ٩٠٠ ميلاً في الساعة ) إذا كان  
على خط الاستواء ( وأقل من ذلك كلما قارب القطبين طبعاً ) .



وهو يتحرك مع الأرض نفسها في دورتها السنوية حول الشمس .  
والأرض تسير في حركتها هذه بسرعة ١٨,٥ ميلاً في الثانية (أو ثلاثين كيلومترًا في الثانية) .  
والشمس وكواكبها سائرة بالنسبة إلى جاراتها النجوم (ونعني بالمجرات هنا النجوم التي تبعد عنا بضع مئات من السنين الضوئية فقط) نحو نقطة تقع ما بين مجموعة الجاني **Hercules** ومجموعة اللورا **Lyra** بسرعة اثني عشر ميلاً في الثانية .  
والشمس كما قلنا هي إحدى نجوم مجرة درب التبانة . وهذه المجرة ، كالمجرات الأخرى تدور حول نفسها بسرعة هائلة . وشمسنا تدور معها طبعاً ، وسرعتها في هذا الاتجاه مئة وعشرون ميلاً في الثانية (٤٣٢٠٠٠ ميل في الساعة) .  
ومجرة درب التبانة ، كباقي المجرات الأخرى ، منطلقة في الفضاء ، تتباعد عن أحوالها . وتختلف سرعة تباعد المجرات عنا ما بين ٦٠٠ - ٤٠٠٠ ميل في الثانية . وإذا وصلنا إلى هذه النقطة فمن الصعب أن نقول فيما إذا كانت المجرات الأخرى هي التي تهرب منا بهذه السرعة ، أو نحن الذين نهرب منها بالسرعة نفسها أو أن كلا منا هارب من الآخر بنصف السرعة المذكورة . إننا هنا لا نستطيع أن نتكلم عن سرعات كهذه إلا بمفاهيم النسبية . فإذا قلنا إن مجرة من المجرات تتباعد عنا بسرعة ٤٠٠٠ ميل في الثانية هو كأن نقول إننا نتباعد عنها بسرعة ٤٠٠٠ ميل في الثانية ، لا فرق إطلاقاً بين التعبيرين . أما من يتحرك في الواقع ؟ فهذا أمر لا يعنيننا ، بل لا نستطيع أن تحدده ، لأننا لو شئنا ذلك لكان من الضروري أن نجد مكاناً ثابتاً مطلقاً في الكون . نعرف بالنسبة إليه ما إذا كانت المجرة الفلانية واقفة أو متحركة وما هي سرعتها المطلقة في حركتها هذه . ولكن النظرية النسبية تقول ليس في هذا الكون مكان مطلق .

وإذا رأى القارئ أن الكتاب الذي في يده ثابت وأنه نفسه ثابت ، فالأمر نسبي . فالقارئ والكتاب ثابتان بالنسبة لبعضهما البعض وبالنسبة للأرض التي هما عليها . أما في الواقع فهما متحركان بالنسبة للكون . وهل تعلم أيها القارئ الثابت أنك إذ تبدأ بقراءة هذه الجملة تكون في مكان معين من الكون وإذا انتهيت من قراءتها تكون قد وصلت إلى مكان آخر قد يبعد عن الأول مئات الأميال . وبما لا شك فيه أنك قد بدأت بقراءة هذا الكتاب في مكان ما من الكون يبعد عنك الآن ملايين الأميال . إنك مسافر أيها القارئ في هذا الكون على ظهر مركبة ، اسمها الأرض منطلقة في هذا الفضاء بسرعة خارقة لكن في نظام بديع . فنتمنى لك (ولنا طبعاً) سفرًا ميموناً ...

ويمكن الآن أن نعود إلى قصة صديقنا الفيزيائي الكلاسيكي الذي قلنا فيما سبق أنه سافر من بيروت إلى عمان ، والذي يقول لك إنه تحرك من مطار بيروت إلى مطار عمان وتم انتقاله هو وكتبه الكلاسيكية داخل الطائرة . إن مفاهيمه القديمة التي يبني عليها حديثه تتضمن ثبات المطارين وتحدث عن انتقاله من مكان ثابت في هذا الكون إلى مكان ثابت آخر أي تتضمن المكان المطلق .

ولكننا أصبحنا نعرف الآن أن هذين المطارين - كباقي سطح الأرض كله - يتحركان حركات سريعة منتظمة ضمن النظام الدقيق الذي مر ذكره . ونكون في الواقع بقصتنا هذه قد أضفنا حركة أخرى بطيئة جداً إلى الحركات العديدة المنتظمة السريعة السابقة . ولو أتيسر لنا أن نجلس في زاوية منعزلة من زوايا الكون (وهذا مستحيل لأنه يعني المكان المطلق ، ولهذا استعملنا كلمة « لو ») ونشاهد الوضع كله والحركات أثناء حدوثها ، لرأينا أن صديقنا الفيزيائي انفصل في لحظة من اللحظات عن مطار بيروت والتحق بعد زمن معين بمطار عمان . وقد ترى من زاويتنا تلك (نتيجة هذه الحركات المعقدة كلها) أن الطائرة ارتفعت من مطار بيروت



وأخذت تتباطأ حتى وصلها مطار عمان فهبطت فيه . أو قد فرى أنها  
ارتفعت من مطار بيروت واتجهت إلى نقطة يتجه إليها مطار عمان فالتقيا  
في تلك النقطة وهبطت فيه . وهكذا فإن احتمالات عديدة تكون نتيجةها  
هبوط الطائرة في المطار .

أما في الحقيقة ، ومن وجهة النظر العامة الشاملة إلى الكون كله ،  
من الذي تحرك تجاه الآخر ؟ الطائرة أم المطار ؟ إن هذا صعب التحديد  
( بل مستحيل التحديد ) ما دما على سطح الأرض . والذي يستطيع أن  
يحدده هو الانسان الجالس في مكان ثابت من الكون . وهذا الانسان  
مستحيل الوجود . ولهذا يجب أن لا يكون لدينا فرق بين أن نقول  
إن الطائرة ذهبت إلى المطار أو المطار ذهب إلى الطائرة .

والشيء نفسه يقال عن سرعة الطائرة . فالأميال الأربعة التي تقطعها  
في الساعة هي سرعتها بالنسبة لسطح الأرض فقط . أما بالنسبة للكون  
فنتحتاج إلى مقارنة مماثلة مع حاصل السرعات العديدة ، وهذه لا يدركها  
إلا الانسان المستحيل الذي جلس في زاوية الكون المستحيلة .

وقبل أن ننهي حديثنا عن المكان في النظرية النسبية يجب أن نذكر  
شيئاً عن الجهات . إن الشمال والجنوب والشرق والغرب وفوق وتحت هي  
اصطلاحات تدل على جهات معينة في الكرة الأرضية فقط . وقد اعتدنا  
أن نرسم الشمال فوق ، والجنوب تحت ، لأن الذين يرسمون الخرائط يصنعون  
نماذج للكرة الأرضية يقدمونها على أن نقرأها وهي في هذا الوضع . فيبدو  
القطب الشمالي متجهاً إلى « فوق » والقطب الجنوبي إلى « تحت » . أما  
بالنسبة للكون فهذه الاصطلاحات لا معنى لها . إن القطب الشمالي للكرة

الأرضية يشير إلى النجم القطبي الشمالي والقطب الجنوبي يشير إلى  
القطب الجنوبي . ولكن هل معنى هذا أن نجم القطب الشمالي فوق وأن  
القطب الجنوبي تحت ؟ إنها بالنسبة إلى اصطلاحاتنا على سطح الكرة  
الأرضية كذلك . أما في الواقع فلا معنى لهذه الاصطلاحات عندما ننظر

نظرة شاملة إلى الكون كله .

هل رأيت أين يوصلك آينشتاين بنظريته أنها القارئ ؟ إن أقل ما  
يعمله هو أن يجعلك لا تعرف فوقك من تحتك .



## الزمن في النسبية

يقول نيوتن أبو الفيزياء الكلاسيكية ما يلي : « إن الزمن الرياضي الحقيقي المطلق ، بنفسه وبطبيعته الذاتية ، يجري بالتساوي وبدون أية علاقة بأي شيء خارجي . » وعندما كتب نيوتن هذا الكلام كان يعرف أنه لم يأت بشيء جديد يحتاج إلى جدل ونقاش ، إنما كان يريد أن يضع المفاهيم المعروفة عن الزمان في نص علمي لا أكثر ولا أقل . فالمفهوم بدهية أن الزمان يسير في جميع اتجاه الكون بالتساوي . وصحة هذا المفهوم أمر لم يكن يتطرق إليه الشك لا عند العلماء ولا عند الفلاسفة ولا عند المتفلسفين .

لكن أينشتاين لا تعجبه هذه المفاهيم كلها ، ولا يكتفي في النظرية النسبية بإثبات أن المكان نسبي وحسب ، بل يتعدى ذلك إلى جميع المفاهيم الكلاسيكية الأخرى واحداً واحداً ينتزعها من ثباتها ويجعلها نسبية ، وكان بينه وبين المفاهيم الكلاسيكية عداء شديداً . وبما أن العالم — على رأي النظرية النسبية — هو ذو أربعة أبعاد ، وقد كان المكان ( الذي يشمل في مفهومنا ثلاثة أبعاد مسافية هي الطول والعرض والارتفاع ) نسبياً ، إذن ، لماذا لا يكون البعد الرابع نسبياً ؟ أي أن الزمان نسبي والزمان المطلق الذي يتحدث عنه نيوتن لا وجود له .

وتعليل نسبة الزمان تشابه بعض الشبه تعليل نسبة المكان .  
إننا نقدر الزمن على سطح الأرض باليوم واجزائه ( الساعة والدقيقة والثانية ) ومضاعفاته ( الشهر والسنة والقرن ) . واليوم هو الوقت الذي تستغرقه الأرض لإتمام دورة كاملة حول نفسها ، والسنة هي الوقت الذي تستغرقه لإتمام دورة كاملة حول الشمس وتبلغ ٣٦٥ يوماً وربع اليوم . ولكن كل كوكب من عائلة الشمس له يومه الخاص وسنته الخاصة . فسنة الكوكب بلوتو تبلغ ٢٤٨ سنة من سنواتنا وسنة عطارد هي ثلاثة شهور . ولا شك أن من حكم عليه بالسجن خمسة عشر عاماً لا يتنبى أن يكون في بلوتو بحال من الأحوال ، بينما يرغب الرغبة كلها أن يكون في عطارد .

إن هذا الاختلاف بين مقاييس الزمن الموجودة على كواكب عائلة الشمس يجعل من الصعب علينا أن ننتخب مقياساً معيارياً . فأي يوم من أيام الكواكب ستأخذ مقياساً ؟

لكن لنفرض أننا اتخذنا مقاييس الزمن على الأرض هي المقاييس المعيارية ( وهذا ما فعله في حديثنا الآن ) وجعلنا ساعتنا المعيارية هي فترة الزمن التي تمر على الأرض ونسميها ساعة ، فسوف تبرز لنا عندئذٍ مشاكل أخرى حول الزمن نفسه .

فالكون واسع الأرجاء جداً ( ولا أظن « جداً » مرتين أو مئة مرة كافية للتعبير عن سعته ) . ولقياس المسافات الكونية الشاسعة كالمسافات ما بين المجرات ، لا يستعمل الفلكيون المقاييس العادية كالشبر والذراع والبارد والمتر ، حتى ولا الكيلومتر والميل ، لأنهم سيجدون عندئذٍ أرقاماً ضخمة تصعب قراءتها . وإنما يستغلون سرعة الضوء ( وهي موضوعنا التالي ) لهذا الشأن . فمن المعروف أن الضوء يسير بسرعة خارقة فيقطع ١٨٦ ألف ميل في الثانية ( ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية ) ، أي أنه يدور حول الكرة الأرضية في الثانية الواحدة سبع مرات ونصف المرة . وهو يصلنا من القمر في ثانية وثلاث الثانية ومن الشمس في حوالي ثمانين دقائق . ويقول



الفلكيون عندئذ بأن بعد القمر عنا  $\frac{1}{3}$  ثانية ضوئية وبعد الشمس عنا ثمانى دقائق ضوئية ، وعلى هذا المتوال يقيسون . ( وأرجو من القارئ أن يلاحظ أننا بدأنا منذ الآن نستعمل قياسات زمنية للدلالة على ابعاد طولية ) وإنا نعرف من أقوال الفلكيين أن أقرب النجوم إلينا وهو « ألفا قنطورس » يبعد عنا أربع سنوات ضوئية . وهناك نجوم تبعد عنا آلاف السنين الضوئية تقع ضمن نطاق مجرتنا « درب التبانة » ... وبهذه المناسبة علينا أن نعرف أن قطر درب التبانة يبلغ ثمانين ألف سنة ضوئية . أي أن الضوء الذي يصدر من طرفها يصل إلى الطرف الآخر في مدة تبلغ ثمانين ألف سنة من سنواتنا .

وبناءً على ذلك ، فإذا حدث حادث في القمر مثلاً فإننا نعلم بوقوعه بعد ثانية وثلاث الثانية ، وإذا حدث في الشمس فإننا نعلم بوقوعه بعد ثمانى دقائق ، وإذا ما انفجر نجم « ألفا قنطورس » سنة ١٩٦٥ فلن نعلم بوقوع هذا الانفجار إلا في سنة ١٩٦٤ ، لأن أسرع وسيلة لنقل أخبار من هذا القبيل ( حتى بحسب رأي أينشتاين نفسه ) هي الضوء ، والضوء يستغرق أربع سنوات في قطع المسافة ما بيننا وبين هذا النجم ، وليس صحيحاً أن أخبار الزواج والطلاق بين النساء تنتقل بهذه السرعة ! وإذا حدث اصطدام بين نجمين من نجوم مجرتنا يبعدان عنا خمسين ألف سنة ضوئية فإننا لن نعلم بوقوع هذا الحادث إلا بعد مرور هذه المدة من وقوعه .

كل هذا ونحن لا نزال ضمن نطاق مجرتنا درب التبانة ، فإذا انتقلنا إلى المجرات الأخرى وجدنا أرقاماً لا يكاد يصدقها العقل . فالتسكوبات الحديثة اكتشفت مجرات على بعد ألف مليون سنة ضوئية ... ويقدر شارليه Charlier أن قطر الكون عشرة آلاف مليون سنة ضوئية ، أي أن الحادث الذي يحدث في مجرة في طرف الكون لا تعلم به ( أو

بستحيل أن تعلم به ) مجرة في الطرف الآخر قبل مرور عشرة آلاف مليون سنة من سنواتنا !

وإذا ما نظرت إلى السماء في ليلة غاب فيها القمر فإنك ترى النجوم . ولكن هل تعلم أنها القارئ أنك لا ترى نجماً واحداً في اللحظة التي تنظر فيها إليه . إنك ترى الضوء الذي صدر عن هذه النجوم قبل سنوات .

قد تكون أربع سنوات إذا كنت تنظر إلى الألفا الستوري ، وقد تكون مئات السنين أو آلاف السنين إذا كنت تنظر إلى نجوم أخرى أو مجرات أخرى . إنك لا تعرف حادثاً مما يقع الآن في أحد هذه النجوم . قد تكون « ألفا قنطورس » اختفت بقدره قادر منذ سنة أو سنتين أو ثلاث سنوات ، ولكنك لا تزال تراها كما كانت قبل أربع سنوات ومن المستحيل أن تعرف ماذا يحدث فيها الآن .

والشيء نفسه يقال بالنسبة للنجم الذي يبعد عنا مليون سنة ضوئية . إنك تنظر إلى الشعاع الذي صدر منه قبل مليون سنة والذي يحدث عن حالته في الوقت الذي بدأ فيه ظهور الإنسان على الأرض . أما النجوم التي تبعد عنا ألف مليون سنة ضوئية فإننا نرى الآن شكلها وحالتها عندما كانت الحياة على الأرض بادئة في التكوين وعندما لم تكن قد نشأت النباتات والزواحف والطيور ولم يكن قد ظهر أي من الفقريات ... ماذا حدث لهذه النجوم في هذه السنين الطويلة ؟ لا أحد يدري ، ومن المستحيل أن يدري . قد تكون انطلقت أو انفجرت منذ ملايين السنين ، ولكننا لا نزال نراها حتى الآن !

إن الكون واسع جداً ، مرامي الأطراف ، كل شيء فيه في حركة مستمرة منتظمة ، ولا يوجد رابط زمني يربط ما بين أجزائه . فكل كلمة « الآن » لا معنى لها إلا في هذه الأرض ، وإذا توسعنا نقول إن لها معنى في الأرض وبعض الكواكب المجاورة والشمس - إذا لم يكن حسابنا الزمني من الدقة بحيث يؤثر فيه بضع ثوان أو عدد من الدقائق . وتوسع كهذا



جائز عرفاً في مطارحات الغرام ورسائل العشاق ، إذ يكتب الفنى المدله  
يقول « إني أنظر الآن إلى القمر فأرى فيه وجهك الوضاء ... » ولو تحرى  
الدقة العلمية لقال « إني أنظر الآن إلى أشعة القمر التي صدرت منعكسة  
عن سطحه قبل ثمانية وثلاث الثانية من رؤيتي لها فأرى فيها وجهك  
الوضاء ... » ولكن ألا يوافقني القارئ على أن ادخال العلم في أصول  
الحب والغرام أمر بارد حقاً .

إذن ، فالكون ككل ، من الناحية الزمنية مفكك الاوصال .

كل هذا حتى الآن معقول .

ولكن النظرية النسبية لا تقف بنا في الزمن عند هذا الحد ، فتقول إن  
الزمن نفسه لا يجري في جميع أنحاء الكون بالتساوي ، كما قال نيوتن ،  
بل هو يطول ويقصر حسب ظروف معينة وأمكنة معينة .  
ولا تعني النظرية النسبية بطول الزمن وقصره ما تشعر به أنت . فمن  
المعروف عادة أنك إذا قضيت ساعة في جلسة بحف بها الماء والخضراء  
والوجه الحسن تجد أنها قد مرت مروراً سريعاً خاطفاً فلا تكاد تصدق أنك  
قد قضيت ساعة ملوفاً ستون دقيقة ، وتظن أنك قضيت بضع دقائق  
فقط ، ومع ذلك فإذا نظرت إلى ساعتك تجد أن عقرب الدقائق دار دورة  
كاملة ، فتختار للسرعة التي تسير بها العقارب وتظن أنها أصبحت عقارب  
نفائة .

وعلى العكس من ذلك ، إذا حكمت عليك الاقدار ان تجلس ساعة  
إلى شخص ثقيل الظل بليد المعشر عميق الجهل معجب بخفة روحه ولطف  
معشره وسعة اطلاعه ، وأخذ يتحدث اليك في موضوع اختصاصك الذي  
لا يعلم عنه شيئاً وينثر من الدرر المكنونة والنصائح الغالية ، وكنت مضطراً  
للاستماع اليه والاصغاء إلى حديثه لسبب من الأسباب ، وما أكثر الأسباب  
التي تتيح للثقل أن يضيقوا الخناق على عباد الله ، انها أكثر من الثقلاء  
أنفسهم .

أقول ، إذا حكمت عليك الاقدار أن تجلس إلى ثقيل بهذه المواهب ،  
وقد تكون ككاتب هذه السطور من ينزل بهم هذا القضاء كل يوم ،  
فإنك عندئذ تجد ندبة في النظر إلى ساعتك فتقوم بحركات رياضية  
منسجمة ، تتلخص في رفع اليد الشمال كي تظهر الساعة ، والانتفات برأسك  
إلى الشمال ودرجة مقل عينيك حتى تقما على عقاربها . وسيد هشك أن  
تجد العقارب واقفة أو شبه واقفة . إنها تسير بطيئة جداً وكأنها أصيبت  
بالكساح فأخذت تزحف زحفاً . وما يكاد عقرب الدقائق يتم دورة كاملة  
حتى تكون قد أحسست بأن الأرض في هذا الوقت قد دارت حول الشمس  
دورة كاملة ، وتكون قد قسمت بتعريفك الرياضي السابق الذكر للأتمة  
وستين مرة .

على أية حال ، فإن الأثر في طول الساعة وقصرها في هاتين الحالتين :  
حالة الثقيل الظل وحالة الماء والخضراء والوجه الحسن ، راجع إلى شعورك  
ونفسيتك ، أما من الناحية العلمية فالساعة تظل ساعة تدل على فترة معينة  
من الزمن .

وليس هذا ما يقصده آينشتاين في النظرية النسبية ، إنه لا يقصد طول  
الساعة أو قصرها من حيث شعورك ومزاجك . إنه يقصد أن الساعة العلمية  
التي تدل على فترة معينة من الزمن ، هي التي تطول وتقصّر تبعاً لظروف  
معينة وأمكنة معينة .

وسيقول القارئ عني الآن ( الآن بالنسبة له وهو يقرأ ، لا بالنسبة لي وأنا  
أكتب ) أنني بدأت أتكلم بلغة أعجمية ، وهذا ما كان يتوقعه من الأساس  
عن كل حديث في النسبية ، وسوف يلوم نفسه على مغامرته بقراءة هذا  
الحديث من الأصل .

لكن دعنا نتمهل قليلاً ونتعاون مع بعضنا البعض لنرى ماذا يقصد  
السيد آينشتاين بهذه الألغاز . لقد كنا منذ بداية الحديث على وفاق فلنكمله  
على وفاق .



وبالإضافة إلى ذلك ، أود أن أحيط القارئ علماً بأن هذا الحديث عن الزمان والحديث الذي سبقه عن المكان ما هما إلا مدخل إلى النسبية ، ونحن يأتي بحث هذه المواضيع في مناسباتها سوف يفهمها فهماً صحيحاً - هكذا أتأمل - لأنها ستكون أوضح مما هي عليه الآن في هذا المدخل العاجل . فأرجو أن لا يجد فيما أتحدث شيئاً مشطاً لحسته ، حتى ولو لم يفهمه فهماً كاملاً للمرة الأولى .

إننا نقيس الزمن على الأرض بالساعة . والساعة هي الفترة الزمنية التي تدور فيها الأرض جزءاً من أربعة وعشرين جزءاً من الدورة الكاملة حول نفسها . وهناك آلات مختلفة لقياس هذه الفترة الزمنية . أعرف منها الساعة العادية - سواء كانت ساعة جيب أو ساعة حائط أو ساعة يد - والمزولة ( وهي الساعة الشمسية ) والساعة الرملية . ولكل هذه الساعات مساوئ ، فقد تقف أو يطرأ عليها خلل فتقدم أو تؤخر ، فلا تسجل عندئذ مرور الزمن بالدقة التي نحتاجها . لكن مالنا ولمساوئ هذه الساعات . ولنتصور - أنا والقارئ - ساعة خيالية نسميها الساعة السحرية لها صفات لا تتوفر في ساعة أخرى في هذا العالم . فهي لا تقف ولا تقدم ولا تؤخر لأي سبب من الأسباب التي نعرفها ، فلا تصدأ ولا يوتر فيها المغناطيس ولا تتمدد بالحرارة ، بل إنها لا تنصهر مع الحرارة العالية بحيث إذا نقلناها إلى الشمس فإنها تسجل لنا مرور الزمن هناك بالدقة التي تسجل بها مروره في أي مكان آخر . وبخلاصة القول إن ساعتنا السحرية هذه لا يأتيها الباطل من بين عقاربها ولا من خلفها ، وإنما عملها أن تقيس لنا مرور الفترات الزمنية بدقة عجيبة غريبة في مختلف الأحوال والظروف ومن هنا استحققت الاسم الذي أطلقناه عليها : الساعة السحرية .

ساعة كهذه تصلح لنا لكي نقدر الزمن فيما يلي من كلام . والقصد منها أنها القارئ هو أننا إذا ما أخذنا نتحدث عن مرور الزمن في أمكنة مختلفة وحسب حركات مختلفة ، أن لا تصرف انتباهك إلى أي عامل من

العوامل التي نعرف أنها تؤثر على الساعات العادية . فإذا قلنا لك مثلاً أننا نقلنا هذه الساعة إلى الشمس فلا تعود تفكر بأن حرارة الشمس سوف تنصهرها ، وتنصرف بذلك عن التفكير في الموضوع الذي ترمي النظرية النسبية إلى إيضاحه .

★

لقد آتشتناين بأن الزمن يطول ويقصر حسب أمرين ، الأمر الأول حسب السرعة وهذا ما يبحثه بالتفصيل في النظرية النسبية الخاصة . والأمر الثاني حسب الكتلة وهذا ما يبحثه في النظرية النسبية العامة . ولكي نفهم فهماً أولياً ما يعنيه آتشتناين بهذا الكلام نفرض فرضاً قد تكون غير قابلة التطبيق في هذه الأيام ولكنها متوقعة الحدوث في المستقبل .

ولتوضيح تباطؤ الزمن مع السرعة نفرض أن لك صديقاً فضائياً قرر أن يترك الأرض ويقوم برحلة في الفضاء يريد أن يذهب بها إلى كوكب كبير كالمشتري مثلاً . وكلاكما يمتلك ساعة سحرية من التي تقدم وصفها . أما صديقك فيمتلك سفينة فضائية مزودة بقوة كبيرة تستطيع أن تسرع بها في الفضاء السرعة التي يريد صاحبها بحيث تقارب سرعة الضوء إذا شاء . وأنت تمتلك مرصداً رائعاً فيه من المعدات ما يجعلك تعرف كل شيء يحدث في سفينة صديقك ، فتراقب منه ملاحظته وتعرف من تحركات شفتيه الكلمات التي يقولها وتستطيع أن تعدّ نبضات قلبه وتقرأ ساعتها السحرية متى شئت .

ستخرج بالطبع لوداع صديقك إلى المطار . وستدرك عينك بعض الدروع ، لا لأنك أسف لفراقه ، فهذا الأسف قل أن يكون بين الاصدقاء في هذه الأيام . إنما العادة قد جرت أن تبكي لوداع المسافرين سفرات طويلة . على أية حال ، فإن يسببك الموقف أن تنظروا معاً إلى ساعتكما السحريتين ، وسوف تجدانهما مضبوطتين تقرأ أن نفس التوقيت



من الزمن . وينطلق الصديق فتعود أنت إلى مرصدك تراقبه . وسوف تخبرك آلات المرصد بأنه أصبح يسير بسرعة عشرة آلاف ميل في الثانية ، وتنتظر إلى ساعته السحرية فتجد أنها قد أخرت عن ساعتك قليلاً ، حتى إذا ما زادت سرعته فأصبحت مئة ألف ميل في الثانية تجد أنها قد تباطأت جداً وأصبح تأخيرها ملحوظاً . وإذا قاربت سرعته سرعة الضوء تجد أن ساعته السحرية لا تكاد تتحرك وأن عقاربها أمشرفت على الوقوف . أما إذا سار بسرعة الضوء تماماً ( وهذا مستحيل كما ستعرف فيما بعد ) فإن عقارب ساعته تقف تماماً أي أن زمانه أصبح صفراً .

هل سمعت أنها القارئ يانسان لا زمان له ؟ إنه صديقك الذي قلنا أنه يسير بسرعة الضوء .

**إذن فالزمن يتباطأ حسب السرعة ، كلما زادت السرعة قل الزمن** زاد التباطؤ . وسوف ترى أموراً أخرى أشد غرابة من هذا

ولتوضيح تباطؤ الزمن مع الكتلة نفرض أن صديقك قد وصل إلى كوكب المشتري بالسلامة وهبط هناك . إننا نعرف الآن أن المشتري غير صالح للحياة ، ولكن أرجو التغاضي عن هذه النقطة ، ولنفرض أن صديقك بشكل من الأشكال قد استقر هناك وبني مرصداً وافي المعدات والآلات مثل مرصدك ، وأبتدأتما بالاتصال مع بعضكما البعض . إن أول شيء يسألك عنه هو الوقت . فهو قد درس النظرية النسبية كما درستها أنت ويعرف أن ساعته السحرية قد أخرت بسبب سرعته أثناء السفر ، ولكنه الآن قد استقر فيزيد أن يضبط ساعته على ساعتك ، وتخبره أنت بالوقت الصحيح فيضبطها وتعود ساعة سحرية كساعتك التي تحملها على يدك . وتسأله بعد حين من الزمن - بعد بضعة أيام أو بضعة أسابيع - فتجدان أن ساعته السحرية التي تسجل مرور الزمن في كوكب المشتري قد أخرت وستعرفان أن السبب في تأخيرها في هذه الحالة هو كبر حجم المشتري

لأن الزمن يمر في كوكب ضخيم كالمشتري ببطء أكثر مما يمر به في كوكب صغير نسبياً كالأرض ، وتستمر ساعته ، تؤخر بقدر معين مادام الصديق في المشتري . أما إذا حدث أن عاد إلى الأرض فستسير ساعته السحرية مع ساعتك ثانية بثانية ودقة بدقة .

ولو حدث أن كان لكما صديق ثالث في كوكب ضخيم جداً أضخم من المشتري بمئات المرات أو آلاف المرات ( لا وجود لكوكب كهذا في نظامنا الشمسي على الأقل ) وكنتم الاصدقاء الثلاثة : على اتصال مع بعضكم البعض ، فسوف تجدون أن ساعة الصديق الثالث تسير ببطء شديد بالنسبة لساعتيكما . وهكذا .

### إذن فالزمن يسير ببطء عند الكتل الكبيرة .

إن هذه المفاهيم لا يرميها آينشتاين اعتباراً في النظرية النسبية ، سواء العامة أو الخاصة ، وهي ستوضح لنا أكثر فأكثر كلما تقدمنا في هذا الكتاب . وسوف ندرك صحتها ، على مدى الغرابة التي نلمسها فيها الآن ، وسوف نرى من البراهين والاثباتات عليها ما لا يدع مجالاً للشك في صحتها .

إن الغرابة أيها القارئ في مفاهيم النظرية النسبية طريفة حقاً ، ولكنها يجب أن لا تعني عسر فهم النظرية على القارئ . وما دامت النسبية قد أصبحت راسخة الأركان في العلم الحديث فيجب أن نهني أنفسنا لهذه المفاهيم ، وإذا هيأنا أنفسنا عملياً لقبولها فسوف نجد أن صعوبتها ليست بالقدر الذي كنا نتصور .

هل استطعت أن تقدر الآن كيف يمكن أن يتباطأ الزمن مع السرعة وعند الكتلة ؟ إذا كنت قد استطعت ذلك ، إذن فلنقدم خطوة أخرى . فهناك أمر أشد حيرة مما ذكر حتى الآن .

فإذا كان الكون ككل ، مفكك الأوصال من الناحية الزمنية ، وإذا



كان نهر الزمن الجاري فيه يجري بغزارة في ناحية وببطء شديد في ناحية أخرى وبدرجة ثالثة من البطء في ناحية ثالثة وهكذا ، ألا يمكن أن نسأل : أين الحاضر وأين الماضي ؟ وأين المستقبل ؟ لو كان نهر الزمن يجري على الكون كله في اللحظة نفسها ، لاستطعت أن أقول بحزم أن الحاضر هو اللحظة التي أكتب فيها هذه الكلمات ، والماضي هو الفترة الزمنية التي سبقت هذه اللحظة وكتبت فيها الصفحات السابقة وعشتها وعاش غيري فيها منذ الأزل ، والمستقبل هو ما يلي هذه اللحظة من زمن . ولكنني عندما أعني حقيقة سير الزمن المفكك الأوصال في هذا الكون أجد أن كلامي هذا لا ينطبق إلا على الأرض التي أعيش فيها ، أي بالنسبة لي ولبن هم حولي . أما في هذا الكون ، فقد يكون حادث من الأحداث في الماضي بالنسبة للجامعة وفي الحاضر بالنسبة لآخرين وفي المستقبل بالنسبة للجامعة غير هؤلاء هؤلاء .

ولنعد الآن إلى الكلمة التي أصبحت مألوقة لدى القارئ مني ، ونقول

« لنفرض » .  
 لنفرض أننا في القرن الخامس والعشرين بعد الميلاد . ونحن الآن في مرصد عربي كبير نشاهد أحد أساتذة الفيزياء في الجامعة وقد احضر ثلاثة تلاميذ يريد أن يمنحهم الامتحان العملي في هذا الموضوع . وكل تلميذ منهم له سفينة فضائية خاصة مزودة بآلات رصد عديدة ومن جملتها ساعة سحرية . ويطلب الأستاذ منهم أن يسجلوا وقت انفجار نجم من النجوم وهم سائرون في الفضاء بسرعات مختلفة ومن أمكنة مختلفة . ويعينهم النجم الذي سينفجر لأنه في ذلك القرن سيكون على علم بمواعيد انفجار النجوم ، فيخرج التلاميذ الثلاثة كل بسفينته التي تسير بسرعة بخارية ويتجهون إلى جهات مختلفة . وبعد ذهابهم يخبرنا الأستاذ بأن النجم سوف ينفجر بعد بضعة أيام في

الساعة الثانية عشرة ليلاً ، ويطلب منا أن نحضر لمشاهدته . فنحضر إلى المرصد العربي في الساعة المعينة ونرى في تلسكوبه الكبير انفجار النجم المعين في تمام الساعة الثانية عشرة ليلاً حسب الساعة السحرية الموجودة في المرصد . وبعد أن نشمّع بمشاهدة الانفجار - وكثير من مناظر الانفجار تكون متعة للإنسان إذا كانت في اعداء قوميتيه - يطلب منا الأستاذ أن نعود للمرة الثالثة بعد بضعة أيام أخرى لاستقبال التلاميذ عند عودتهم من الفضاء وحضور نتيجة الامتحان .

ونعود كما طلب أينا ويرجع التلاميذ كل يحمل جوابه حسب ساعته التي تكون قد أخرجت مع السرعة الشديدة ، فيطلب منهم الأستاذ إعطاء الجواب حسب ساعة المرصد العربي . فيحسبون ذلك ويقول الأول إن النجم قد انفجر في الساعة الحادية عشرة والدقيقة الخمسين حسب ساعة المرصد . فيسأله الأستاذ عن سرعة سفينته الفضائية أثناء رحلته وعن الوجهة التي كان كان يتجه إليها ، ثم يضع له علامة « صح » ويكتب « أحسنت » .

ويأتي دور الثاني فيقول : إن النجم انفجر في الساعة الثانية عشرة والدقيقة الخامسة عشرة حسب ساعة المرصد فيسأله الأستاذ عن سرعة سفينته واتجاهها ، ثم يضع له علامة « صح » ويكتب « أحسنت » .

ويأتي الثالث فيقول إن انفجاره كان في تمام الساعة الثانية عشرة حسب توقيت المرصد . فيسأله الأستاذ عن اتجاهه وسرعته ، فيجيبه على ذلك ، فيقول له الأستاذ ، إنك كاذب كسول ، فقد سجلت رقمك هذا وأنت على الكرة الأرضية لم تغادرها إلى الفضاء كما طلب منك . إنك قد ذهبت إلى مرصد آخر في الكرة الأرضية وشاهدت انفجار النجم منه ، فإنك لن تعطينا هذا الرقم إلا إذا كنت معنا على الكرة الأرضية ، ولكنك تخدعني فتقول إنك كنت سائراً في الفضاء . إنك تخشي وتكذب علي . ولهذا لا أكتفي أن أقول لك إنك راسب ، بل أقول لك إنك مطرود .

وعلى ذلك فمن الصحيح جداً أن النجم انفجر في الساعة الحادية عشرة





والدقيقة الخمسين بالنسبة لمشاهد يتحرك بسرعة معينة بالنسبة للنجم المنفجر .  
ومن الصحيح جداً أنه انفجر في الساعة الثانية عشرة تماماً بالنسبة لمشاهد  
على الأرض ، والأرض تتحرك بسرعة غير الأولى بالنسبة للنجم المنفجر .  
ومن الصحيح جداً أنه انفجر في الساعة الثانية عشرة والدقيقة الخامسة عشرة  
بالنسبة لمشاهد ثالث في حركة نسبية تختلف عن الأولى وعن الثانية .

أي أننا عندما نكون في المرصد في الساعة الثانية عشرة تماماً وبريتسا  
الاستاذ في التلسكوب انفجار النجم يكون هذا الحدث قد وقع في الحاضر  
بالنسبة لنا ، وفي الحاضر بالنسبة للتلميذ الكسول الذي ذهب واختبأ في  
بقعة من الأرض وأحجم عن الذهاب بسفينته إلى الفضاء . ويكون الحدث نفسه  
في الماضي بالنسبة للتلميذ الأول فقد وقع قبل عشرة دقائق ، ويكون الحدث  
نفسه في المستقبل بالنسبة للتلميذ الثاني ، أي سيقع بعد خمسة عشر دقيقة .

أي أن حادثاً في هذا الكون قد يكون في الماضي بالنسبة لمشاهد ، وفي  
الحاضر بالنسبة لمشاهد آخر وفي المستقبل بالنسبة لمشاهد ثالث ، إذا  
اختلفت حركة هؤلاء المشاهدين بالنسبة للمكان الذي يقع فيه الحادث .  
وإذا اختلفت أبعادهم عن موقعه .

أرأيت أيها القارئ ، كيف يخلط لك آيتشتاين الماضي بالحاضر بالمستقبل

## الآثير وسرعة الضوء

لنسترح قليلاً أيها القارئ الشيط ، في ركن من أركان الفيزياء  
الكلاسيكية التي تؤمن بثبات الأركان . الا نحس بدوار في رأسك من  
ركوب سفينة الفضاء ، ودوار في طمأنينتك حين تعرف أنك غير ثابت في  
الزمان ، ودوار في مفاهيمك حين ترى أن الماضي والحاضر والمستقبل في  
هذا الكون أزمنة تختلط مع بعضها البعض ، كما تختلط أنواع المشروبات  
الروحية لتشكيل لك كوكتيلاً . ولكن الكوكتيل المكون من الماضي والحاضر  
والمستقبل يسكر مفاهيمك العلمية أكثر مما يفعل كوكتيل المشروبات الروحية  
في أعصابك .

وعلى ذلك ، اقترح أن نتفياً ظلاً من الفيزياء الكلاسيكية الثابتة  
الراسخة لنستعيد رباطة جأشنا ونواصل سفرتنا النسبية مستجمعين قواضا .  
والفيزياء الكلاسيكية هي الطبيعيات التي كنا ندرسها في المدارس وكانت  
تبدو لنا منطقية معقولة مقبولة نلتقي تعليماتها بهدوء في النفس واطمئنان في  
البال ، أنها مجرد تفسيرات لما نرى ونسمع ونلمس من الظواهر الطبيعية ،  
لمس فيها ما يبلبل الفكر أو يهزأ بالأحاسيس .

وقد تكون عالياً بما سنقول ، فلن نجد جديداً فيه ، ألم أقل لك أننا



نقصيد الراحة ؟ وإذا لم نجد فائدة تشكرها لي ، فأظن أنك ستشكر لي أن اعينك قليلاً إلى أيام المدرسة السعيدة وما ترتبط به من أحلام الشباب البافع .

كنا عندما نقبل على ملعب كرة القدم نرى لاعباً ، عن بعد ، يضرب الكرة بقدمه ، وبعد لحظات نسمع صوت الضربة فنبتهج فرحاً إذ نرى التطبيق العملي لما تعلمناه في المدرسة ، ونندرك أن الضوء ينتقل أسرع من الصوت . فينبري الكبار ( أي من كانوا في الرابعة عشرة أو الخامسة عشرة ) يفسرون هذه الظاهرة للصغار الذين لم يدرسوا هذا الموضوع بعد . كانت أمثلتنا آنذاك مستمدة من ظواهر الحياة المرحية ، كاللعب بكرة القدم في هذه الحالة . أما الآن فلاني أنظر إلى الكتب الفيزيائية العديدة الموجودة أمامي فلا أرى أمثلة إلا عن طائفة بندقية أو طائفة مدفع ، فاضطر لاستعمالها وإن كنت أعلم أن صوتها سيذعج القارئ لا سيما إذا كان متمسداً على سريره وبدأ النعاس يذهب إلى جفنيه .

لنتوكل على الله ، ولنضرب الطائفة ولننظر إليها عن بعد . إننا نرى الوميح أولاً وبعد فترة نسمع الصوت . والشئ نفسه يقال في البرق والرعد ، فإننا نرى البرق أولاً وبعد فترة نسمع دوي الرعد . والسبب في ذلك بسيط كما تعلمنا في المدرسة ، وهو أن الضوء أسرع من الصوت .

وقد قاس العالم ميرسين **Mersenne** سرعة الصوت في أوائل القرن السابع عشر بطريقة المدفع بأن جعل زميلاً له يطلق المدفع بينما وقف هو على بعد سبعة أميال . ورأى وحيج الطائفة ثم سمع الصوت بعد فترة من الزمن وهذه الفترة هي الوقت الذي استغرقه الصوت في قطع الأميال السبعة . ووجد بالحساب أن سرعة الصوت تبلغ ٧٠٠ ميل في الساعة . وقد وجد العلماء فيما بعد أن سرعته الصحيحة ٧٥٠ ميل في الساعة ( أو ٠.٢ ميلاً في الثانية أو ٣٣٠ متراً تقريباً في الثانية ) .

وقد رأى العلماء في هذه السرعة آنذاك أمراً خارقاً حقاً . فبالحواد الأصيل يقطع في ركضه أربعين ميلاً في الساعة ، وإذا بسرعة الصوت تتعدى فصيلة الخيول كلها .

### جاليليو وسرعة الضوء :

أما الضوء فكانت حوله معركة حامية آنذاك بين العلماء ، منهم من يقول بأن سرعته لا نهائية خارجة عن نطاق حسابات العلوم ، ومن هؤلاء الفيلسوف ديكارت **Descartes** . ومنهم من يقول بأنها متناهية ومن هؤلاء جاليليو **Galileo** .

وقد حاول جاليليو أن يقيس سرعة الضوء لاثبات صحة رأيه . فخرج في ليلة ظلماء مع أحد مساعديه ، وكل منهما يحمل مصباحاً موضوعاً في صندوق خاص مغلق ، له فتحة في أحد جوانبه تغلق وتفتح عند اللزوم ، إذا فتحت خرج الضوء إلى الخارج وإن أقيمت بحجب النور . وطلب من مساعده أن يجلس في محل بعيد عنه ثلاثة أميال وأن يفتح النور إذا هو فتح نور مصباحه . وأعطاه الإشارة فأجاب عليها ، وحسب الوقت الذي استغرقه الضوء في قطع ثلاثة أميال . ثم غير المسافة بينه وبين مساعده وأعاد التجربة ، ولكنه وجد أن تجاربه كلها لا تنطبق على بعضها البعض ، فاسقط في يده .

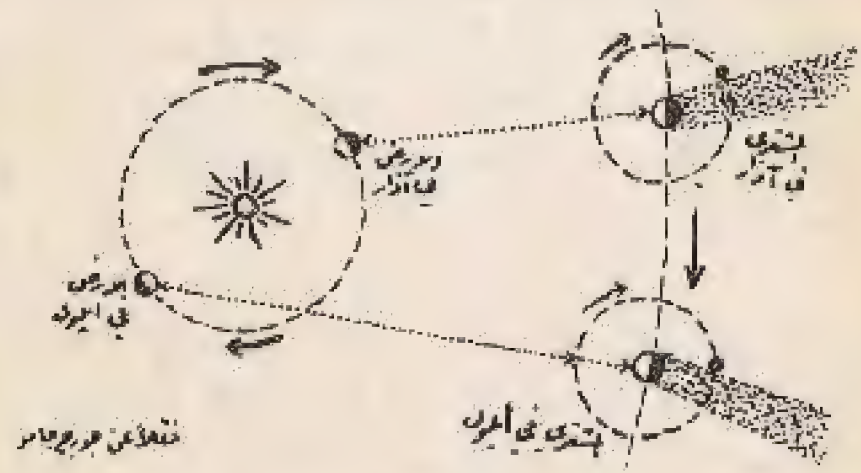
إن الفكرة التي استعملها جاليليو لقياس سرعة الضوء هي صحيحة من أساسها . ولكنه لم يكن يظن أن سرعة الضوء خارقة جداً بحيث يدور حول الأرض سبع مرات في الثانية الواحدة . وهذا على غرابته هو ما تقوله الفيزياء الكلاسيكية لا النظرية النسبية . ولا يعني ذلك أن النظرية النسبية تخالفه .

فكان مثل جاليليو في محاولته هذه مثل الذي يريد أن يقيس محيط الكرة الأرضية بالشر .



## رومر واقمار المشتري :

ولكن أول من قدر سرعة الضوء تقديراً صحيحاً يقارب الحقيقة هو العالم الدانماركي رومر **Roemer** في أواخر القرن السابع عشر . وقد استعمل لذلك أحد اختراعات جاليليو وهو التلسكوب . فقد كان رومر يراقب الخسوفات في أقمار المشتري . وأقمار المشتري هي التي اكتشفها جاليليو أيضاً ، فوجد أن وقت خسوف هذه الأقمار واختفاؤها خلف كوكبها يختلف في الوقت الذي تكون فيه الأرض قريبة في مدارها من المشتري عن الوقت الذي تكون فيه بعيدة عنه . ( انظر الشكل ٥١٨ ) . وقدر رومر أن هذا التأخير بسبب عن حركة الأرض في مدارها ، وأن الفرق في الوقت هو ما يحتاجه الضوء لقطع قطر المدار . وبناء على حساباته تلك وجد أن سرعة الضوء تبلغ ١٨٥٠٠٠ ميلاً في الثانية .



شكل ٥١٨

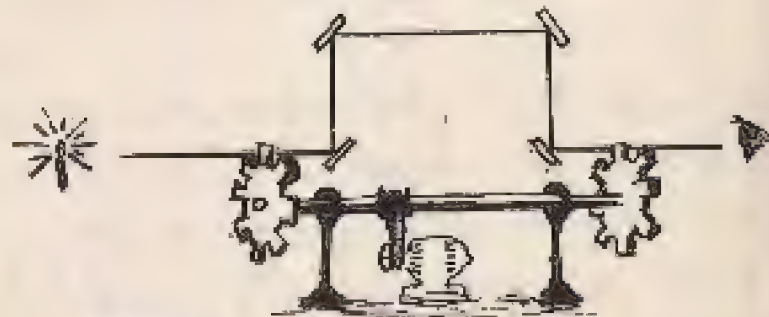
( طريقة رومر في قياس سرعة الضوء )

لهذا ندرك سبب فشل جاليليو عندما حاول أن يقيس سرعة الضوء في مسافة ثلاثة أميال .

## طريقة فيزو :

ولكن العلماء فيما بعد اكتشفوا طرقاً أخرى لقياس سرعة الضوء أشهرها طريقتان : طريقة ميكلسون **Michelson** بالمرايا ، وطريقة فيزو **Fizeau** بالعجلة المسننة . وسأكتفي بذكر الأخيرة .

يتكون الجزء الأساسي من جهاز فيزو من عجلتين مسننتين ( أي لها أسنان ) مركبتين على محور مشترك بحيث إذا ما نظرت من خلال الثغرات الموجودة ما بين الأسنان في العجلة الأولى وكانت نظرتك في اتجاه مواز للمحور فلذلك تجد أن أسنان العجلة الثانية تغطي ثغرات العجلة الأولى . وبناء على ذلك ، فإذا أرسلنا شعاعاً ضوئياً موازياً للمحور فإنه لا يستطيع أن يمر من خلال العجلتين مسننتين كيفما أدركت المحور . ولنفترض الآن أن هذا الجهاز ذا العجلتين المسننتين قد أخذ يدور بسرعة عظيمة . ولما كان الضوء الذي يمر ما بين سنين من العجلة الأولى يستغرق وقتاً قبل أن يصل إلى العجلة الثانية : فسوف يستطيع أن يمر من إحدى ثغرات العجلة الثانية إذا ما دارت العجلتان في هذه المدة القصيرة من الزمن بمقدار نصف البعد ما بين ثغرتين متتاليتين . وعلى ذلك ، فإن المرء يستطيع أن يقدر سرعة



نقطة من حركته

شكل ٤٢٥

( طريقة فيزو لقياس سرعة الضوء )



الضوء أثناء قطعه للمسافة ما بين العجلتين ، إذا ما عرف سرعة دوران المحور وظهور الضوء أو اختفائه حسب السرعة هذه . وبمعاودة لنجاح هذه التجربة وتقليلاً لسرعة الدوران اللازمة ، فإن المرء يستطيع أن يطيل المسافة التي يقطعها الضوء ما بين العجلتين وذلك بواسطة المرايا كما هو ظاهر في شكل ٢٢ .

وبهذه التجربة تمكن فيزو من رؤية الضوء من خلال ثغرات العجلة التي كان ينظر فيها ، عندما كان الجهاز يدور بسرعة ألف دورة في الثانية . وبما أن سنّ العجلة يقطع المسافة ما بينه وبين مجاوره في نفس المدة الزمنية للضوء لكي يقطع المسافة ما بين العجلتين ، وبما أن كل عجلة كان فيها خمسون سنّاً متائلة الحجم ، فقد كانت هذه المسافة تساوي جزءاً من مئة جزء من محيط العجلة . وعلى هذا يكون الزمن الذي يستغرقه السن لقطع المسافة بينه وبين مجاوره مساوياً  $\frac{1}{100}$  من الزمن الذي تحتاجه العجلة لكي تتم فيه دورة كاملة . ولما كانت هذه المدة هي التي يستغرقها الضوء في قطع المسافة من عجلة إلى أخرى ، فقد حسب فيزو سرعة الضوء فكانت  $300,000$  كيلو متراً في الثانية أو  $186,000$  ميلاً في الثانية ، وهي تقريباً نفس النتيجة التي حصل عليها رومر أثناء مراقبته أقمار المشتري .

وسنرمز فيما يلي لسرعة الضوء بالحرف (س) ، ويرمز لها عادة في الانكليزية بالحرف (c) . وأحسن تقدير نعرفه لهذه السرعة حتى الآن هو :

$$s = 299,776 \text{ كيلومتراً - ثانية أو } 186,300 \text{ ميلاً - ثانية}$$

إن هذه السرعة الماثلة هي معيار مناسب لقياس المسافات الفلكية الشاسعة جداً ، والتي لو شئنا تقديرها بالكيلو مترات أو الأميال لكان علينا أن نكتب أرقاماً تملأ صفحات كاملة . وعلى ذلك فإن الفلكي يقول بأن نجماً معيناً يبعد عنا خمس سنوات ضوئية كما نقول في حديثنا عادة بأن

مكناً يبعد عنا خمس ساعات بالسيارة أو بالقطار . ولما كانت السنة تحتوي على  $31,558,000$  ثانية ، فالسنة الضوئية تدل إذن على مسافة تساوي  $229,776 \times 31,558,000 = 9,460,000,000,000$  كيلومتراً أو  $5879,000,000,000$  ميلاً .

ونلتفت انتباه القارئ للمرة الثانية إلى أننا باستعمالنا السنة الضوئية لقياس المسافات فإننا نسلم عملياً بأن الزمن أصبح بعداً وأن الوحدات الزمنية أصبحت قياساً للفضاء .

### الآثير :

لم تكن تظهر البراهين العديدة التي تدلّ على أن للضوء سرعة محدودة ، حتى بدأ العلماء يفكرون في الوسط الذي ينتقل موجات الضوء . والضوء أيها القارئ ينتقل بموجات مدروسة معروفة عند الفيزيائيين ، كما أن الصوت ينتقل بموجات / وأظنك لا تزال تذكر شيئاً من هذا القبيل مما درست من الفيزياء في المدرسة ، هذا إذا كنت لا تزال تذكر أنك كنت في مدرسة .

ولنعد إلى أمثلة تلك الأيام ، إذ يبدو لي أنها أبسط الأمثلة . إذا رميت بحجر على صفحة ماء راكد فإنك ترى الماء يرتفع وينخفض على شكل دوائر تبدأ من الموقع الذي رميت بالحجر فيه وتوسع شيئاً فشيئاً ثم تتلاشى تدريجياً . هذه الارتفاعات والانخفاضات نسميها موجات مائية في حالة الماء الراكد الذي وقع الحجر فيه .

وهناك موجات مماثلة تحدث في الهواء فتنتقل الصوت الذي تحدثنا عنه فيما سبق ، فتنتشره من مصدره إلى جميع الجهات وتتحف كلما بعدت حتى تتلاشى كما هو الحال في الموجات المائية . ومن المعروف علمياً أن الصوت لا ينتقل في الفراغ الخالي من الهواء ، ولهذا فإن إحدى المشاكل الكثيرة العدد التي ستعرض المسافرين إلى القمر أنهم إذا نزلوا على سطحه



فلن يكون في استطاعتهم أن يتحدثوا إلى بعضهم البعض كما نتحدث نحن على سطح الكرة الأرضية ، وذلك لعدم وجود هواء على سطح القمر ينقل أصواتهم بتموجاته . ولهذا يجب أن يجدوا وسيلة أخرى للتخاطب . ولكن الضوء ينتقل البنا من مصادره ، لا على سطح الأرض فحسب ، بل يأتينا من نجوم بعيدة جداً ، لا وسط مائي أو هوائي يصلنا بها . ففي أي وسط يسير ؟ وما هو الشيء الذي يحمل موجاته ؟

كان لزاماً على العلماء أن يفسروا هذه الظاهرة . والتفسير المنطقي لحالة كهذه هو أن يفترضوا وجود شيء ينقل الموجات الضوئية ؟ وسموه « الأثير » . فالأثير في الأصل هو الشيء الذي ينقل الضوء في أرجاء الكون . ولكن العلماء بدأوا يسبقون عليه صفات تتفق مع نوع العمل الذي يقوم به . فقالوا إنه يملأ الكون كله ، ويتخلل الأجسام المادية الأخرى وتصبح فيه الكواكب والنجوم والمجرات ، وفيه من صفات المواد الصلبة من حيث انتقال أشعه الضوء فيه وتذبذبها ، وفيه من صفات المواد السائلة من حيث تسبح فيه الأجرام السماوية ... وهكذا إلى آخر ما يمكن أن يتحدث عنه العلماء من الصفات ، والعلماء والحمد لله لا يتركون أمراً دون أن يحشروا أنفسهم فيه .

ولم يكونوا يعلمون أنهم بنظرية الأثير هذه كانوا يعبدون الطريق السني ستودي إلى ميلاد النظرية النسبية .

وإذا قلنا إن الأرض تسبح في بحر لجي من الأثير ، كان معنى هذا الكلام أنها تخلق تياراً أثرياً أو ريحاً أثرية على جانبيها . وإذا كنا لا نحس بهذا التيار أو بهذه الريح ، فما ذلك إلا لتبدل احساسنا تجاه الأثير اللطيف جداً الذي يحترق اجسامنا دون أن نشعر . هكذا فلتكن اللطافة والآ فلا ... \* ومثلنا في ذلك مثل الذي يركب باخرة ضخمة بمخر بها عباب البحر . إنه يخال نفسه ثابتاً على ظهر الباخرة وهي واقفة لا تتحرك ، ولا يدري في أي اتجاه تسير . ولكنه إذا أدلى بعضاً لأمس

الماء فسيري عندئذ تياراً من الماء يجري على جانبي العضا إلى الجهة المعاكسة لاتجاه الباخرة وسيعرف عندئذ إلى أي جهة يسير ، وستكون سرعة التيار على جانبي العضا مساوية لسرعة الباخرة .

وبالمثل ، فإذا كانت الأرض تمخر عباب الأثير فسينشأ تيار متجهه عكس اتجاه سيرها ، وستكون سرعة هذا التيار أو هذه الريح الأثرية ١٨,٥ ميلاً - ثانية . أي بمقدار سرعة الأرض في مدارها حول الشمس .

فهل لهذا من اثبات ؟

يجب أن يكون هناك اثبات لوجود ذلك الشيء الذي ينقل البنا موجات الضوء خلال الفراغ الفلكي الشاسع والذي يكاد يكون تعليل وجوده المنطقي من البدهة يمكن .

وهنا جاء اختبار ميكلسون ومورلي Michelson and Morley ، ذلك الاختيار اللعين الذي فتح الباب على مصراعيه للنظرية النسبية وقال لها تفضلني وادخلي حظيرة العلم .

### ما يترتب على وجود الأثير :

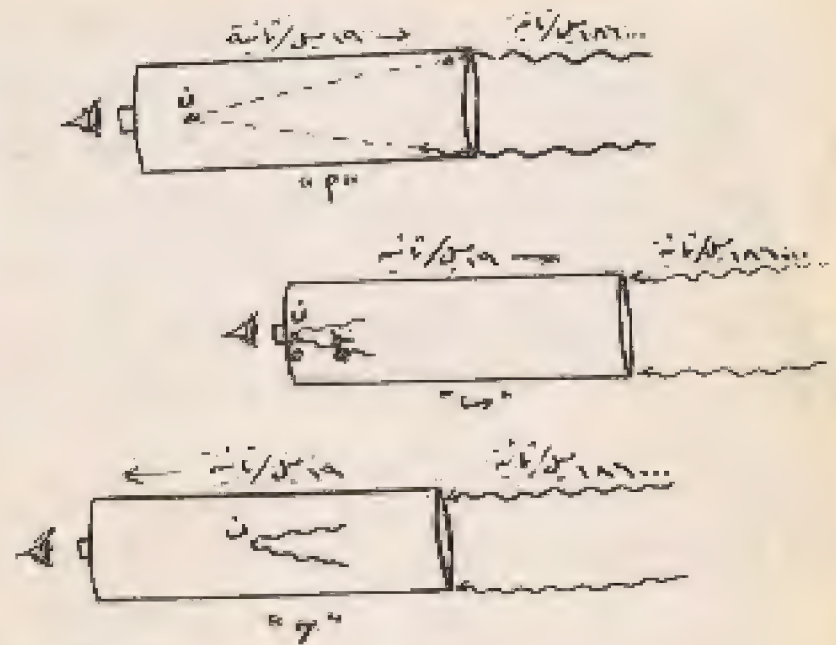
لكن ما لنا نتعجل الحديث عن ميكلسون ومورلي واختبارهما ، وعلينا قبل ذلك أن نثريث لحظتين .

ففي اللحظة الأولى نتحدث عن الأثر المنتظر للأثير في التلسكوب . ومن المفهوم ضمناً من حديثنا السابق عن الأثير أنه الشيء الوحيد الثابت في هذا الكون ، وبقيّة الأجسام الفلكية تسبح فيه .

ولنفرض أن لدينا تلسكوباً كبيراً في مرصد ما على سطح الأرض ، ولنوجه عدسته تجاه نجم في الجهة التي تتحرك في اتجاهها الأرض في مدارها حول الشمس . إن أشعة النجم الضوئية التي تسير على شكل موجات في الأثير الساكن ستسقط على عدسة التلسكوب التي تجمعها في البؤرة « ن » في الشكل « ٣ » ١ ، الذي رسم فيه شعاعان فقط للإيضاح . والنقطة « ن »



هي نقطة في الفضاء داخل انبوب التلسكوب .



نقطة من كرون

شكل ٣١

اشعة الضوء على عدسة التلسكوب بوجود الاثير

لكن بما أن المشاهد والتلسكوب يتحركان إلى اليمين بسرعة ١٩ ميلاً ثانية فإنهما سيتقدمان في الواقع ليقابلا « ن » أي البويرة التي ستكون عندئذ عند عين المشاهد كما هو ظاهر في الشكل « ٣١ » ب ، فبهاها بوضوح .

ولنفرض الآن أننا نظرنّا في التلسكوب نفسه بعد ستة شهور عندما كان موجهاً للنجم نفسه . إن الكرة الأرضية بعد ستة شهور تكون قد قطعت نصف مدارها حول الشمس ، وتكون سائرة في اتجاه معاكس للاتجاه الذي كانت تسير فيه قبل ستة شهور ، أي أنها عند ذاك تكون سائرة تبعد عن النجم المذكور بسرعة ١٩ ميلاً ثانية . ومعنى ذلك أن التلسكوب

والمشاهد يتبعان بهذه السرعة عن البويرة « ن » كما هو ظاهر في الشكل « ٣٠ » ج . وابتعاد البويرة عن عين المشاهد سوف يظهر له النجم غير واضح وبصورة مشوشة إلا إذا عدل بالآلات الأخرى قرب العدسة وبعدها عن عينه .

وإذا كان هذا الكلام صحيحاً ، كان معنى هذا أننا إذا عدلنا جهاز تلسكوب وسلطاناه على نجم معين بحيث يظهر فيه بوضوح تام ، فإننا لن نستطيع أن نرى النجم بوضوح بعد ستة أشهر بالتلسكوب نفسه إذا لم يعث به أحد . وهذا تعليل منطقي جداً حسب التفسير السابق .

وقد حاول العلماء جهدهم متابعة هذه الظاهرة ، ولكن دون جدوى . فأين ضاع التفكير العلمي ؟ وكيف لا نجد النتائج المنطقية العلمية عملياً ؟ لا أحد يدري .

على أية حال ، فالعلماء ، لا يعجزون ، وهم يارعون في إيجاد تفسيرات علمية لفشلهم العلمي .

فقد فسر العالم فرنزل Fresnel هذا الفشل بإيجاد نظرية جديدة قال فيها بأن الاثير ينسحب وراء الأجسام الصلبة . وأخذ العلماء تفسيره على أنه التفسير الوحيد لتعليل اختفاء هذه الظاهرة ، فيجب أن يكون هناك اثير ينسحب خلف الأجسام الصلبة .

وهكذا فقد دار بنا العلماء دورة طويلة واعادونا حيث كنا ، فأين ادلك يا جحا ؟ وما كان أغنانا عن هذا التعب .

» » »

قلت لك أيها القارئ أننا ستريت لحظتين . ها قد انتهت اللحظة الأولى فوقك الله من الثانية .

أما الثانية ، فهي أحجية — أو إذا شئت — مسألة حسابية .

لنفرض أننا على شاطئ نهر عريض كالكيل مثلاً ، وصلنا إليه ومعنا ساولنا وأطفالنا ، وهناك حيث وصلنا منتزه للرجال سنجلس فيه أنا وأنت ،



ومقابلنا على الشاطئ الآخر متنزه السيدات يبعد عنا ألف متر تماماً لأن عرض النيل في تلك البقعة ألف متر تماماً . وهناك متنزه ثالث على الشاطئ الذي وصلنا إليه يبعد عنا ألف متر تماماً إلى الجنوب مخصص للأطفال ، ولدينا قارب بخاري يسير بسرعة ألف متر في الدقيقة في الماء الراكد . وعلينا أن نوصل السيدات بالقارب إلى متنزههن ، ونعود فنأخذ الأطفال ونوصلهم بالقارب إلى متنزههم ، ثم نعود فنجلس وحدنا في متنزه الرجال متنفسين الصعداء لأننا نخلصنا من هؤلاء ومن هؤلاء واستراح دماغنا من وظيفة السائق التي يشغلها كل رجل في مثل هذه الظروف .

انت تميل بالطبع - ولست وحدك فقط - أن تتخلص من زوجتك أولاً ، فتدعي أنك بداعي الاحترام للسيدات ستبدأ بإيصالهن بالقارب البخاري ، وستعود حالاً لأخذ الأطفال وإيصالهم . ولكن ابنتك الذكية - أيها السائق النشيط - تعترض على هذا قائلة : إن عليك أن توصل الأطفال أولاً لأن رحلة القارب إلى متنزه الأطفال في الذهاب عكس تيار النهر وفي الإياب مع تيار النهر سيستغرق وقتاً أقل من الوقت الذي سيستغرقه القارب في الذهاب والإياب إلى متنزه السيدات ومنه ، لأنك في هذه الحالة ستقطع التيار مجانبية ، والمقاومة الجانبية للقارب ستكون في الذهاب والإياب . فعليك يا أبت الحبيب أن تبدأ بإيصالنا نحن الأطفال أولاً ، ثم تعود للسيدات ، لأن رحلتهم أطول من رحلتنا .

إنك ستوافق على رأيها في الحساب دون أن تبحث المسألة طبعاً . وسوف لا تدري إذا كان حسابها صحيحاً أم أنها تخدعك والسبب في ذلك هو أنك واثق من شيء واحد فقط في علم الحساب ألا وهو ضعف معلوماتك فيه ، وتعرف أن هذه المعلومات قد تقلصت وانكمشت إلى الجمع والطرح فقط : جمع الديون وطرح دخلك منها . حتى الكثير منا لا يتقن هذين الفرعين من الحساب ومنهم كاتب هذه السطور .



شكل ٤٠

المتنزهات على شاطئ النيل

دعنا نبحث المسألة معاً . ولنبدأ بإيجاد الوقت الذي يستغرقه القارب في الذهاب إلى متنزه الأطفال والإياب منه . إنه في الذهاب يسير عكس تيار النهر أي أنه سيجد مقاومة ، ولكنه في الإياب يسير مع تيار النهر فيجد مساعدة . فهل سيكون الوقت الذي سيستغرقه في الذهاب والإياب في هذه الحالة كالوقت الذي يستغرقه فيما لو كان الماء راكداً ؟ لنفرض أن سرعة ماء النهر الجاري هي مئة متر في الدقيقة ، وقد قلنا سابقاً إن سرعة القارب البخاري ١٠٠٠ متر - دقيقة .

فإذا كان الماء راكداً فإن القارب سيذهب من متنزه الرجال إلى متنزه الأطفال ويعود في مدة دقيقتين تماماً ، دقيقة للذهاب ودقيقة للإياب . لكن في حالتنا هذه ستكون سرعته في الذهاب هي سرعته الأصلية في الماء الراكد مطروحاً منها سرعة تيار النهر ١٠٠٠ - ١٠٠ - ٩٠٠ متر - دقيقة . والوقت الذي يستغرقه يساوي المسافة مقسومة على السرعة أي  $\frac{1000}{900}$  من الدقيقة .

وستكون سرعته في العودة هي مجموع سرعته الأصلية مع سرعة تيار



النهر ، أي  $1000 = 100 + 1100$  متراً دقيقة .

والوقت الذي يستغرقه في العودة يساوي  $\frac{1000}{1100}$  من الدقيقة .

$$\frac{200}{99} = \frac{1000}{1100} + \frac{1000}{900} \quad \text{والزمن الذي يستغرقه في الذهاب والاياب :}$$

$$= 2.02 \text{ دقيقة .}$$

$$\text{ومعدل الرحلة الواحدة سيكون } \frac{2.02}{2} = 1.01$$

أي أنه يتأخر بمعدل  $\frac{1}{100}$  عما لو كان الماء راكداً .

هل تعلم أيها القارئ أننا بمسألتنا هذه قد قمنا بحل مسألة حسابية لو تناولها علماء الرياضيات لوضعوا لنا رموزاً لا نفهم منها شيئاً ، ولوضاوا بعد ذلك إلى هذه النتيجة التي وصلنا إليها بكل بساطة .

ولكن لماذا لا نلجأ إلى الرموز أيضاً ونقلدهم ، فما دمتنا قد حللنا المسألة فستكون الرموز بسيطة بالنسبة لنا الآن .

لنفرض أن  $x$   $z$  هي الزمن الذي يستغرقه القارب في الذهاب والاياب ، وأن  $m$  المسافة ،  $q$  سرعة القارب ،  $x$  « سرعة النهر .

فسيكون الزمن الذي يستغرقه في الذهاب  $\frac{m}{q-x}$

والزمن الذي يستغرقه في الاياب  $\frac{m}{q+x}$

وستكون لدينا المعادلة التالية :

$$z = \frac{m}{q-x} + \frac{m}{q+x}$$

$$= \frac{mq + m^2}{(q-x)(q+x)}$$

$$= \frac{mq + m^2}{q^2 - x^2}$$

$$= \frac{mq}{q^2 - x^2} \times \frac{q^2 - x^2}{q^2 - x^2}$$

$$= \frac{1}{\frac{q^2 - x^2}{mq}} \times \frac{mq}{q^2 - x^2}$$

$$z = \frac{1}{\frac{q^2 - x^2}{mq}} + \frac{1}{\frac{q^2 - x^2}{mq}}$$

وقد تبدو هذه الرموز غريبة ، ولكننا قد وصلنا في الواقع إلى قانون يقول بأن الزمن الذي يستغرقه القارب (أو أي شيء آخر سائر في تيار) عكس التيار ومعه في قطع مسافة معينة ذهاباً وإياباً يساوي الزمن الذي يستغرقه في

قطع هذه المسافة ذهاباً وإياباً مع عدم وجود أي تيار  $\left(\frac{m}{q}\right)$  مضروباً

في عامل معين له علاقة بمربع سرعة التيار ومربع سرعة القارب وهو :

$$\frac{1}{\frac{q^2 - x^2}{2q}}$$

~~ملاحظة~~

ولكرر هذا الكلام فنقول ، إن جسماً معيناً إذا سار مسافة معينة في الذهاب والاياب يستغرق وقتاً يساوي  $\frac{m}{q}$  — إذا كانت المسافة (م) وسرعة الجسم (ق) .



$$\frac{1}{\frac{2}{3} - 1} \times \frac{2}{3}$$

خلاصة القول : اننا عرفنا عامل التأخير إذا كان القارب يسير مع التيار وعكسه . فما هو عامل التأخير إذا كان القارب يسير عجانية ، أي يقطع النهر عرضاً . إن هذه تحتاج إلى حساب أكثر مما استعملنا في السابق وتحتاج إلى ادخال حساب المثلثات في الموضوع . ويقول الرياضيون أن عامل التأخير في هذه الحالة :

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma$$



مقدار التفاضل :-  $\frac{3}{x} + \frac{3}{x-1}$

↓ wpc

$$(0-0) + (0+0)$$

$\pi \rightarrow \sigma \pi$

60-49

$$\frac{2}{0.5} \times \frac{15}{1} =$$

$$\begin{array}{r} \downarrow \quad \downarrow \\ x \quad \overline{p \quad c} \end{array}$$

201



اختبار ميكلسون ومورلي

اختبار ميكلسون ومورلي

عند كتابة هذا الموضوع لاحظت أن اسم الاستاذ ميكلسون يبدأ بالحرف «م» واسم الاستاذ مورلي كذلك . وعلى ذلك يمكن أن نسمي الاختبار «اختبار م م» مجازة للطراز الحديث في تسمية الأمور المثيرة . فنحن نعرف ب.ب وهي تعني بروجيت باردو ونعرف «م.م» وتعني ماريلين مونرو . ولا أعرف شخصياً أمثلة أخرى لأضربها لك ، لكنني أقدم لك هذا الاختبار اللعين الحبيث المثير وكل رجائي أن لا تحسبه اختبار ماريلين مونرو ما دام يبدأ بالحرفين نفسهما .

على أية حال ، فستدرك الفرق عندما تفهم الاختبار ، وستعلم بأنه آثار عقول العلماء وأفكارهم وحبرهم بما لم تستطع أن تقوم به ب.ب ولا م.م في عقول المراهقين .

والفكرة التي يقوم عليها الاختبار بسيطة جداً . وقد قلنا فيما سبق أن الاختبار نفسه قام لاثبات وجود الأثير . فالرياح الأثيرية التي تنشأ على جانبي الأرض أثناء اختراقها الأثير أمر يكاد يكون مفروغاً منه في العلم الطبيعي (الفيزياء) ويكاد لا يكون بحاجة إلى جدل . ولكن اختباراً يؤكد وجوده سيزيد من توطيد أركان علم الفيزياء الموطن الأركان بطبيعته .

وأظن أنك لا تزال جالساً إليها القارئ في المتنزه الذي وضعناك فيه قبل بضعة صفحات ، وقد أخذت تفكر في أرجاع الأطفال والسيدات ، وأي الرحلتين سوف تستغرق وقتاً طويلاً . وأظنك عرفت الآن أن ذهابك معكس التيار لإحضار الأطفال والعودة بهم مع التيار سيستغرق وقتاً أكثر بثانية (في مثلنا السابق الذكر) من ذهابك لإحضار السيدات والعودة بهن وأنت تسير في الخاليتين بجانب التيار .

فهل يمكن أن نصنع جهازاً يسير فيه الضوء مرة مع تيار الأثير ويعود معكس ، ومرة أخرى يمشي بجانب لتيار الأثير في الذهاب والاياب . إننا إذا فعلنا ذلك استطعنا أن ندرك الفرق بين سرعة الضوء في الخاليتين ، وعندئذ يثبت لنا وجود الأثير الذي لا شك في وجوده حتى الآن .

وهذا هو ما يفعله اختبار ميكلسون ومورلي .

لقد فكر الاستاذ ميكلسون أول الأمر أن يقيس سرعة الضوء بطريقة ميزو المارة الذكر ، بحيث يقيس سرعته مرة مع تيار الأثير ومرة أخرى معكس التيار ومرة ثالثة بجانب التيار . وهذه هي في الواقع أسهل الطرق لو كان في الامكان إجراؤها . ولو تمكنا من ذلك فإننا نتوقع أن نجد سرعة الضوء في اتجاه الرياح الأثيرية (على فرض أن سرعة الضوء الأصلية

$$186000 \text{ ميل-ثانية} : - \text{سرعة الرياح الأثيرية} = 186000 + 18 = 186018 \text{ ميل-ثانية} .$$

وستكون سرعة الضوء ضد الرياح الأثيرية :

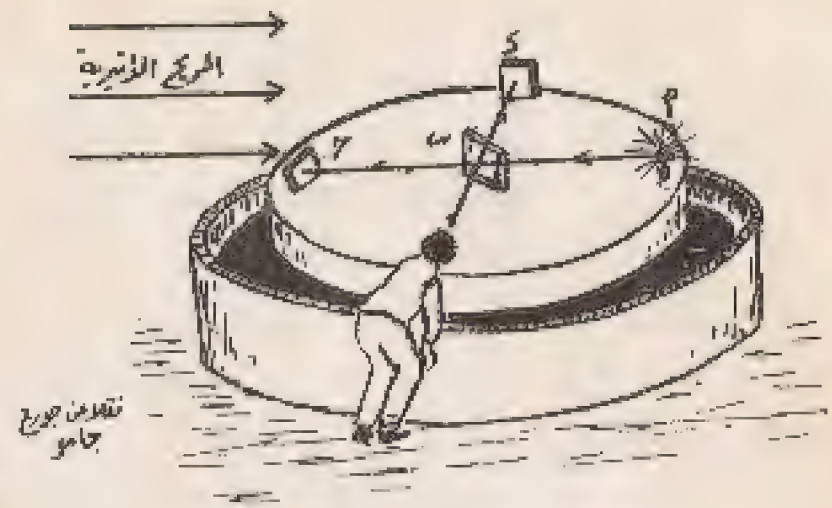
$$186000 - 18 = 185982 \text{ ميل-ثانية} .$$

لكن هل كان هنالك أجهزة تقيس سرعة الضوء بهذه الدقة ، وتظهر لنا فرق ثلاثين ميلاً في مئة وستة وعشرين ألف ميل ؟ إنها لم تكن موجودة إذن فما العمل ؟

إن أحسن طريقة لاكتشاف هذا الفرق هي أن تأتي بشعاعين مختلفان سرعة ونجعلهما يتقابلان في نقطة ولننظر بأعيننا لنترى النتيجة الحتمية لتقابل



هذين الشعاعين وهذا هو أساس الاختبار .



شكل ٥٥

اختبار ميكلسون مورلي

ويتكون الجهاز من مائدة كبيرة من الصخر مستوية السطح يتوسطها لوح زجاجي «ب» طلي بغشاء رقيق من الفضة نصف شفاف بحيث إذا ما وقعت اشعة الضوء على اللوح انعكس نصفها وسمح للنصف الآخر بالمرور من خلال اللوح إلى الجهة الأخرى . ويوجد في نقطة «ا» مصدر يرسل أشعة الضوء ، وفي نقطة «ح» ، ونقطة «د» وضعت مرآتان على أبعاد متساوية تماماً من اللوح الزجاجي «ب» بحيث إذا ما صدر شعاع من «ا» تجاه اللوح الزجاجي فإنه يعكس نصفه إلى المرآة «د» ويسمح للنصف الآخر بالمرور منه إلى المرآة «ح» . أما نصف الشعاع الذي وصل إلى «د» فإنه ينعكس عن سطح المرآة ويعود إلى اللوح الزجاجي مرة أخرى فينقسم إلى قسمين قسم ينعكس عن «ب» ويذهب إلى «ا» والقسم الآخر يحترق اللوح الزجاجي «ب» ذاهباً إلى عين المشاهد . وكذلك فقد قلنا بأن الشعاع الصادر من «ا» ينقسم إلى قسمين

على سطح اللوح الزجاجي «ب» ، وتحدثنا عن القسم الذي ينعكس من «ب» ويذهب إلى «د» . أما القسم الآخر فإنه يمر خلال اللوح الزجاجي «ب» ويذهب إلى المرآة «ح» حيث ينعكس عليها ويعود إلى اللوح الزجاجي مرة أخرى فينقسم إلى قسمين : قسم يحترق اللوح ويذهب إلى «ا» والقسم الآخر ينعكس ذاهباً إلى عين المشاهد . وهكذا . والمقصود من وراء هذا الاختبار أن تكون شعاعين صادوين من مصدر واحد ، كل منهما يقطع الآخر عمودياً عليه . ولما كان الجهاز كله قد وضع بحيث تكون الرياح الأثيرية سائرة باتجاه «ا» كما هو مبين في «شكل ٥٥» بالأسهم ، كان معنى ذلك أن الأشعة من «ا» إلى «ح» تذهب عكس الأثير وتعود من «ح» إلى «ا» مع الأثير ، وأن الشعاع السائر من «د» إلى عين المشاهد سيقطع الرياح الأثيرية بجانبه في ذهابه وإيابه .

إن الاختبار كله يمثل قصة القارب البخاري الذي تنزهنا فيه مع الأطفال والسيدات .

وبما أن عامل التأخير الذي يحدث في اتجاه «ا» هو أكثر من التأخير الذي يحدث في اتجاه «د» - عين المشاهد ، فيجب أن يكون هناك اختلاف في سرعة الضوء بين الحالتين . ولذلك فإن الشعاعين المتعامدين عندما يتقابلان في «ب» وتنعكس أقسام منهما إلى عين المشاهد ، فستظهر للمشاهد ظاهرة معروفة في علم الضوء اسمها التداخل *Interference* . وتكون نتيجةها بريقاً في جهات وهبوطاً في شدة لمعان الضوء يقارب الظلمة في جهات أخرى .

وتقوم ظاهرة التداخل على أساس أن للضوء موجات ، وموجات شعاعين مختلفين قد تشد أزر بعضها البعض إذا اتحدت قمة موجة أحد الشعاعين مع قمة الأخرى ومنخفض الأولى مع منخفض الثانية ، فسيزداد عندئذ لمعان الضوء في عين المشاهد ، ويسمى في هذه الحالة التداخل البنائي



أوقات مختلفة في الليل وفي النهار وفي الصيف وفي الشتاء وحاولا جردهما أن يخرجوا نتيجة إيجابية . وقام بعدهما علماء آخرون في بقاع مختلفة من الكرة الأرضية وفي اتجاهات مختلفة وأوقات مختلفة . ولكن نتيجة التداخل لم تظهر لأحد ، وذهبت جهود ميكلسون ومورلي والعلماء الآخرين مبثاً .

ماذا حصل للعالم الثابت الأركان ؟ وهل هناك أثر حقاً ؟

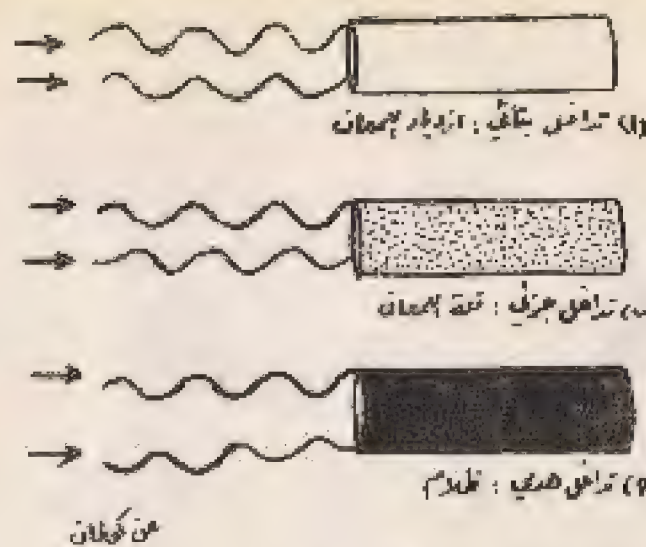
### الرقع البالية :

كان هذا الاختبار في الواقع صدمة شديدة للفيزياء الكلاسيكية هزت كيانهما هزاً عنيفاً وجعلت قلعتها تنهوى على الأرض حطاماً . فأخذ العلماء يرمون : وهل ينفع الترميم ؟

فقال بعضهم إن الأرض أثناء سيرها خلال الأثير تسحبه وراءها وحوايلها . وعلى ذلك فإن الذين يعيشون على سطحها لن يشعروا بالرياح الأثيرية . وقال آخرون بأن الأرض يجب أن تكون ثابتة في موضعها من الأثير ، أي أنهم عمادوا إلى المفهوم القديم ، بأن الأرض هي المركز ، والنجوم والكواكب الأخرى والمجرات تدور حولها !!..

وقالت جماعة ثالثة بأن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة للمصدر الذي يبعثه ، وعلى ذلك فسرعته دائماً بأي حال من الأحوال هي ١٨٦,٠٠٠ ميلاً/ثانية . وإذا كان الأمر كذلك فإن جهاز ميكلسون لن يكتشف شيئاً لأن السرعة في مسيره مع الرياح الأثيرية ذهاباً وإياباً وفي مسيره مجانبية ستكون واحدة . ولكن هذا الكلام يعني أن سرعة الضوء متغيرة بالنسبة للأثير ، وتترتب عليه أمور أخرى لا يصدقها العقل .

إلا أن الترميم الذي صادف قبولاً وكان له وقع حسن عند العلماء هو ما رآه فيتزجيرالد Fitzgerald . فقد قال إن كل الأجسام تنكمش في اتجاه حركتها خلال الأثير . فإذا كانت كرة المطاط عند اصطدامها



شكل ٦٥

التداخل الضوئي

شكل ٦٥ x ١٥ . وقد لا يحدث انسجام في سير الأشعة فلا تنفق منخفضات الموجات ومرتفعاتها مع بعضها البعض شكل ٦٥ x ٥ ب ، فيقل اللامعان في عين الرائي ويسمى عندئذ التداخل الجزئي . وقد يحدث أن تنعكس الموجات فيأتي مرتفع موجة مع منخفض أخرى فيتلاشى الأثر الضوئي ويشاهد الرائي بقعة مظلمة شكل ٦٥ x ٥ ج وتسمى هذه الحالة بالتداخل الهدمي .

ولا أعتقد أن الاستاذين ميكلسون ومورلي عندما قاما بهذه التجربة كانا يشكان في وجود الأثير وفي النتيجة لهذا الاختبار وظهور التداخل على اللوح الزجاجي أمام أعينهما ، إنما كانا يفتيان أن يقدموا للعالم اثباتاً عملياً على وجود الأثير الذي لا شك في وجوده نظرياً .

وقد قاما بإجراء هذا الاختبار ونظرا إلى اللوح الزجاجي ، وإذا بالضوء يسير أمام أعينهما بلمعانه العادي ! لم يشتد في ناحية ولم تشبه شائبة من الظلمة في ناحية أخرى ، فغيرا اتجاه الجهاز ، ثم قاما بإجراء الاختبار في



$$\frac{2}{21-1} \sqrt{\frac{2}{21-1}}$$

( حيث «ا» سرعة الأرض في الأثير و «س» سرعة الضوء )

فإننا لا نلاحظ أثراً إيجابياً لاختبار ميكلسون مورلي .

وأظن أن هذه المعادلة ليست غريبة على القارئ ، فقد مرت علينا حينما كنا نركب القارب البخاري ونوصل السيدات إلى المتنزه .  
على أية حال ، فإن إدخال نظرية جديدة إلى حظيرة العلم التجريبي لتفسير فشل اختبار من الاختبارات ، أمر لا يستسيغه العلماء كثيراً ، لا سيما إذا لم يكن لهذه النظرية أي إثبات . إن الترميم في قلعة الفيزياء الكلاسيكية أصبح مفضوحاً جداً ، ولهذا أصبح العلم ينتظر بناء قلعة جديدة متينة غير تلك البالية .

وهنا جاء شاب في الخامسة والعشرين من عمره يحمل الفأس والمهول فحطم القلعة القديمة البالية وبني محلها قلعة راسية البنيان وطيدة الأركان أما الشاب فاسمه ألبرت آينشتاين ، وأما القلعة الجديدة فاسمها النظرية النسبية .

بالخاطئ تنبئ محل الاصطدام ، أي تنكمش عند مقاومة الخاطئ لها ، فلماذا لا تنكمش الأجسام أثناء تحركها خلال الأثير للمقاومة التي تبذلها منه ؟ وقد سميت هذه الظاهرة « انكماش فيتزجيرالد » . وهي في الواقع أحسن تفسير ظهر حتى ذلك الوقت لفشل اختبار « ميكلسون مورلي » . وإذا ألقينا نظرة أخرى على شكل « ه » وتفحصنا الجهاز ونتمعنا في الخططين اللذين يسير فيهما الضوء من « ا » إلى « ب » ومن « د » إلى « ح » المشاهد ، فسنرى أن الخط الأول « ا ب » يسير فيه الضوء مع الريح الأثيرية وعكسها ، أما « د - ح » المشاهد فيسير فيه الضوء بجانباً للريح الأثيرية . ونحن نعرف الآن أن عامل التأخير في الخط « ا ب » هو أكبر من عامل التأخير في الخط « د - ح » المشاهد .

والخط « ا ب » كما هو مفهوم ضمناً يدل على اتجاه حركة الأرض في الأثير . فإذا كان هناك تقلص في الكرة الأرضية وفي المائدة الموضوع عليها الجهاز باتجاه هذا الخط وبمقدار الفرق بين عاملي التأخير فلن نكتشف أي أثر لتداخل الضوء ، وسيكون انكماش فيتزجيرالد تفسيراً كافياً لفشل اختبار ميكلسون مورلي . فإن قصر المسافة « ا ب » بهذا الانكماش سيعوض عن فرق التأخير بين العاملين . وإذا أدركنا الجهاز بمقدار ٩٠° فسوف نحصل على النتيجة نفسها ، فالجهة التي تنتظر تباطؤ سرعة الضوء فيها ، هي الجهة التي تنكمش فيها مائدة الجهاز وينكمش فيها كل شيء على الأرض وتنكمش الأرض نفسها .

لا تؤاخذني أيها القارئ إذا بدا في كلامي هذا بعض الصعوبة ، فهو في الواقع ليس صعباً إذا أمعنت فيه قليلاً وأجهدت نفسك . ونحن الآن بحاجة إلى جهدك وجهدي أيضاً لأننا نجتاز البرزخ الفاصل بين الفيزياء الكلاسيكية والنظرية النسبية ، واجتياز البرازخ والمضيق صعب دائماً . وخلاصة القول إن المائدة المقام عليها الجهاز إذا كانت تنكمش بمقدار



النظرية النسبية الخاصة

<http://www.hazemsakeek.com>



### بداية عصر جديد :

في عام ١٩٠٤ نشر آينشتاين النظرية النسبية الخاصة ثم اتبعها عام ١٩١٦ بالنظرية النسبية العامة ، فكانت هاتان النظريتان بداية العصر الذري الذي نعيش فيه الآن . ومن الخطأ في الواقع أن نقول إنهما نظريتان لأنهما نظرية واحدة . القسم الخاص منها يبحث في الأجسام أو الأنظمة التي تتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة للمشاهد . وهذه تسير في خطوط مستقيمة أي أنها تبحث في حالة خاصة من حالات الأجسام . أما القسم العام من النظرية النسبية فهو يبحث في الأجسام التي تتسارع بالنسبة للمشاهد . وبما أن الأجسام الفلكية في هذا الكون تسير في مدارات منحنية وليس في خطوط مستقيمة ، فهي إذن تغير اتجاه سيرها باستمرار ، وتغير اتجاه السير هو نوع من أنواع التسارع . وبما أن القسم العام من النظرية النسبية يبحث هذه الأمور ، لهذا فهو أعم وأشمل ، ولهذا سمي بالنظرية النسبية العامة .

لقد حاول آينشتاين أن يأتي بتفسير لفشل اختبار ميكلسون مورلي ، ولكنه بتفسيره هذا ، جاء بمفاهيم غريبة بالنسبة للفيزياء الكلاسيكية ، مفاهيم تنسف الفيزياء الكلاسيكية من أساسها ، ولا تكفي بتفسير اختبار ميكلسون مورلي وإنما تفسر ظواهر أخرى عديدة من الكون ، بحيث تشكل نظرية صلبة البناء متماسكة الجوانب .

وكانت هذه النظرية قوية بشكل غريب ، وعلى الرغم من غرابة



المفاهيم التي ادخلتها إلى حظيرة العلم ، فقد كانت تثبت صحتها كلما دخلت في تجربة . وقد علمتنا أن العالم الذي نعيش فيه هو أغرب مما يبدو لنا من خلال الفيزياء الكلاسيكية ، وأن البديهيات التي لم تكن تحتاج إلى إثبات في مفاهيمنا القديمة هي موضع شك ، بل قد يكون التسليم بها خطأ من الأخطاء . وعدا عن ذلك كله فقد كانت لها نتائج فلسفية بعيدة الأثر . فقد نزع المفاهيم المطلقة ووضعت محلها المفاهيم النسبية ، ونزعت الاستقامة من هذا الكون وعوضت عنها بالخطوط المنحنية ، وخلطت المكان بالزمان ... بهذا وبغيره انزعزت آخر ما تبقى للإنسان من مفاهيم الثبات ، وتركزت نفوس العلماء على الأقل وفيها الكثير من القلق .

أنا لن نتطرق إلى النواحي الفلسفية في كتابنا هذا ، فالغرض من الكتاب هو تبسيطها من الناحية العلمية فقط . وإذا كان لنا بعض التعليقات بين آونة وأخرى فالقصد منها هو الدعاية ، لكي يتابع القارئ نشاطه في قراءة الكتاب . وإذا شاء أن يتخذ من ذلك مغزى فلسفياً فالأمر راجع إليه .

ولقد عاد آينشتاين القهقري إلى ما قبل ظهور نظرية الأثير ، حينما كان العلماء الفيزيائيون يعتقدون بالفضاء الفارغ ، واستبعد الأثير مسن حساباته كلياً . ومع أن افراض وجود الأثير كان يحل مشاكل فيزيائية عديدة للعلم ، إلا أن آينشتاين قدم نظرية تحل كل هذه المشاكل حلولاً مقنعة جداً دون ادخال الأثير في الحساب .

وتقوم النظرية النسبية على فرضين فقط ، يطلب منا آينشتاين أن نسلم بصحتها دون أن يقدم دليلاً على ذلك . وهي في هذا كغيرها من فروع العلوم التي تطلب منا أن نسلم لها ببديهيات لا تحتاج إلى إثبات . ألا تعتبر الهندسة المستوية مثلاً أن المستقيم هو أقصر خط يصل بين نقطتين . ونقول بأن هذه الفرضية بديهية ؟ إن لكل فرع من العلوم بديهياته الخاصة به . والنظرية النسبية بديهتان أو فرضان .

ونحن إذا سلمنا بصحة هذين الفرضين ( أو البديهيتين ) فإن النظرية النسبية ستتحضن بقوانين للكون وتفسيرات لظواهره ستكون مدهشة في صدقها ، معبرة عن الواقع الفيزيائي الذي نعيش فيه بشكل تعجز الفيزياء الكلاسيكية عن التعبير عنه . وإذا ما شئنا مرة من المرات ، بذكاثنا الخارق أن نجد معضلة من المعضلات أو مشكلة من المشاكل نبتغي من ورائها إثبات خطأ النظرية وإظهار بطلانها ووضعنا هذه المعضلة أو المشكلة موضع البحث والاختبار الدقيق فسنجد في نهاية الأمر أننا قدمنا اثباتاً جديداً على صحتها لأن النتائج التي سنحصل عليها ستطبق على أصولها . ولن يكون باستطاعتنا أن نجد مشكلة تطعن فيها أو تغمر في صحتها .

وهذان الفرضان اللذان يطلبهما منا آينشتاين هما :

(١) حول الأثير .

(٢) سرعة الضوء .



## الأثير في النسبية

إن قوانين النظرية النسبية ومفاهيمها كلها قائمة على تجاهل وجود الأثير تجاهلاً كلياً . فآثره في الفيزياء الكونية يساوي صفراً . ويقول منطق هذا الفرض بأن الأثير لا يمكن اكتشافه . ويظهر أن السيد آينشتاين متحفظ جداً ، فهو لا يؤكد عدم وجوده ، وإنما يبني كل النظرية النسبية وكأن الأثير لا وجود له ، فليس في نتائجها ولا في مفاهيمها ما له بوجود الأثير صلة . وظواهر الكون سائرة في مجراها الطبيعي كما تفسرها النظرية النسبية سواء وجد الأثير أم لم يوجد . ويلوح لي أن وجهة نظره هذه هي أشد أنواع الاحتقار للأثير بصورة مهذبة مؤدبة . إنه يريد أن ينتقم من ذلك الذي ارتكز عليه العلماء أجيالاً متعاقبة إذا به سراب خداع .

ولإذا تجاهلنا وجود الأثير وتبين أثره في الفيزياء الكونية ، برزت لنا نتائج جديدة .

فمن المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية أن الأثير يملأ الكون وتسير فيه الافلاك . ولا كان الامر كذلك ، فإننا ندرك — على الأقل ادراكاً باطنياً وإن لم نذكر ذلك — أن الأثير هو الشيء الثابت ثبوتاً مطلقاً في الكون .

الطريق إلى سترينج  
على شكل الآن

وعلى ذلك ، فإن حركة الاجرام السماوية يمكن قياسها — بشكل من الاشكال — بالنسبة للأثير الثابت .

أما إذا تبيننا وجود أثر الأثير — أو ليسمح لي القارئ بعد الآن أن أذكر الإثير نفسه عندما أقصد أثره — فأقول : أما إذا تبيننا وجود الأثير ، أي تبيننا وجود المكان المطلق ، فلن يتبقى لنا إلا المكان النسبي والحركة النسبية .

هل ركبت القطار مرة ، أيها القارئ ، وكان واقفاً في المحطة وكان يقف على الخط المجاور له قطار آخر ، وكنت تنظر اليه من النافذة ؟ ( ولا أريد أن أذكر ما الذي استرعى انتباهك في القطار الآخر ) . سوف تأتي لحظة تجد فيها أن أحد القطارين يتحرك فلا تعلم أيهما ، حتى يخفي القطار الآخر بمن فيه فترى الأرض وتعلم عندئذ فيما إذا كان قطارك المتحرك أم القطار الثاني . صدقني أيها القارئ أن هذه القصة حدثت معي أكثر من مرة ( أعني القصة كلها ما عدا الشيء الذي يسترعي الانتباه في القطار المجاور ، فهذا لم يحدث أبداً ) . ولم تحدث في القطارات وحسب بل في التراموايات والسيارات أيضاً .

ولقد تكلمنا كثيراً عن المكان في النسبية فيما سبق ، وبما أن الحركة هي انتقال الشيء ( الذي يدل على مكان في هذا الكون ) من موضع إلى آخر ، فإننا إذا أردنا أن نتكلم عن الحركة كان معنى ذلك أننا نخوض موضوع المكان المرة الثانية . فهل لديك مانع أيها القارئ من ذلك ؟ أظنك تسمع بعض الأحاديث في بيتك عشر مرات على الأقل تتكرر عليك في غضون عشر ساعات بالاسلوب نفسه وبالكلمات نفسها صادرة عن اللسان نفسه . أما أنا فسوف أعيد عليك الحديث مرة أخرى بقالب آخر . أما إذا رحمت تدعي أنك تملّ التكرار حقاً ، فما الذي تعمل في البيت عندئذ ؟

لتفرض أنك أنت وحماتك صديقان لدودان أو عدوان حميمان ، وهذا



فرض طبعاً ، ولا أعني به الأمر البدهي الذي يجب أن نسلم به دون جدال ، انما أعني الافتراض وهو شيء بعيد الاحتمال . لنفرض - لا سمح الله - أن شيئاً كهذا قد حدث وبلغت حدة الخصام بينكما مبلغاً قررت بعده أن تترك الكرة الأرضية التي تسكنها الجماع . وكان تحت تصرفك سفينة فضائية تسير بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة ، ركبتهما وانطلقت في الفضاء .

إن من مشاكل المستقبل أيها القارئ ، اختراع سفن الفضاء التي تيسر للأزواج الهرب من حمواتهم بهذه السهولة ، فيندفع الملايين منهم إلى الفضاء يفتشون على كواكب لا حموات فيها ، وسوف تصاب الكرة الأرضية عندئذ بنقص في عدد السكان بدلاً مما تعانيه الآن من تضخم في هذا العدد .

لكن مالتنا والحديث عن الحقائق الاجتماعية ، إنها لمزجة حقاً . ولتعد إلى حديثنا الفيزيائي ، فنقول : إنك ركب أيها القارئ سفينة الفضاء وانطلقت في الفضاء هارباً من حماتك بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة . إنك ستشعر بالارتياح لمجرد مفارقتك الأرض ، ويدب الاطمئنان في قلبك شيئاً فشيئاً كلما ابتعدت عنها . حتى إذا اختفت الأرض ( التي تحصل حماتك ) عن عينيك أحسست بالاطمئنان الكامل ، وأدركت عندئذ ما هي السعادة ، وأخذت تفكر باتزان وهدوء أعصاب . وسينصرف تفكيرك المادى إلى بحالك الفيزيائية بما يتيسر لك من آلات أرصاد موجودة في السفينة . من المفروض انك تسير بسرعة خمسة آلاف ميل بالنسبة للأرض لأنك انطلقت منها بهذه السرعة . أما الآن ، وبعد أن اختفت الأرض عن عينيك ، فبأي سرعة تسير ؟ وكيف يمكن أن تقيسها ؟ لا سبيل إلى ذلك . إنك تحتاج إلى شيء تراه حتى تقيس سرعتك بالنسبة إليه . ولكنك تلمح بعد مدة من الزمن سفينة فضائية أخرى تتبعك . ويبتدىء قلبك بالخفقان خوفاً من أن تكون حماتك هي التي تلاحقك حتى خارج

الكرة الأرضية - وهذا كثير - وتجد أن السفينة الأخرى تقترب من سفينةك ثم تحاذيك وتمرّ عنك سائرة في طريقها . إنك تتنفس الصعداء ، فقد كتب لك الله السلامة ، إنها ليست حماتك ويجب أن يكون إنساناً آخر هارباً من حماته . فالحمد لله على سلامتك . وهنا تسترد وعيك وتستعمل أجهزة الارصاد الدقيقة الموجودة لديك ، وتقيس سرعة السفينة التي مرت بقربك فتجد أن سرعتها ألف ميل في الساعة بالنسبة ل سرعتك . وكل ما تستطيع أن تقول هو ان سرعتها بالنسبة لك هي ألف ميل في الساعة . وبما انك تسير الآن بسرعة خمسة آلاف ميل بالنسبة للأرض ، فإن سرعتها ستكون ستة آلاف ميل بالنسبة للأرض . لكن ما هي سرعتك الآن في الواقع ؟ ألم يحدث شيء غيرها كان يزيد فيها أو ينقص منها ؟ إنك لم تعد ترى الأرض الآن ، وكل ما تستطيع أن تقدمه من قياسات صحيحة مولود بها هو أن تقول بأن سرعة السفينة الفضائية ألف ميل في الساعة بالنسبة لك ، وهذا الرقم هو ما سجلته آلات أرصادك الدقيقة . ولكن هذا القياس أو هذا الرقم يمكن أن تحصل عليه في احتمالات عديدة . منها أن تكون سرعتك الآن عشرة آلاف ميل في الساعة بالنسبة للأرض وقد مرت عليك السفينة الأخرى بسرعة أحد عشر ألف ميل في الساعة بالنسبة للأرض . ومنها أن تكون سرعتك ألف ميل في الساعة فقط بالنسبة للأرض والسفينة الأخرى ألفي ميل بالنسبة للأرض أيضاً . ومنها أن تكون واقفاً بالنسبة للأرض أي سرعتك صفر وقد مرت عليك السفينة الأخرى بسرعة ألف ميل في الساعة بالنسبة للأرض . ومنها - وهنا أشد الاحتمالات بلاء - أن تكون السفينة الأخرى هي الواقعة بالنسبة للأرض أي سرعتها صفر ، وانت تسير إلى الخلف بسرعة ألف ميل في الساعة متجهاً إلى الأرض التي تركت حماتك فيها . أليس من المناظر المضحكة في هذه الحالة أن تكون ممسكاً بعجلة القيادة متجهاً بوجهك إلى ناحية بينما تسير بك السفينة إلى الناحية الأخرى ؟



مهما يكن من أمر ، فإنك في جميع هذه الحالات ستحصل على نقص القياس ، وهو سرعة السفينة الأخرى بالنسبة لك ، أو سرعتك بالنسبة للسفينة الأخرى . وستدرك عندئذ أنك بحاجة إلى شيء ثابت لكي تعرف من الذي يتحرك منكما . كان من المفروض أن يكون الأثير ثابتاً ، فنحن وإن لم نره نعرف بأننا نتحرك بالنسبة له ، ولكن النظرية النسبية حرمتنا حتى من هذا الأثير .

وبناء على ذلك ، هل تعلم أيها القارئ أنك إذا كنت في سفينتك الفضائية في موضع من الكون لا ترى فيه نجوماً أو كواكب أو مجرات فإنك عندئذ لا يمكن أن تعرف - حتى بأدق الأجهزة الموجودة لديك - فيما إذا كنت واقفاً أو متحركاً ؟

وفي هذا يقول آينشتاين : « إن كل حركة نسبية » . وبناء عليه فإننا لا نستطيع أن نتكلم عن حركة مطلقة . وعندما نقول إن سرعة السيارة خمسون ميلاً في الساعة ، فمن المفهوم بداهة أنها تكون كذلك بالنسبة للأرض . أما إذا ابتعدنا عن الشيء الذي يمكن أن نقيس سرعتنا بالنسبة له ، فلن يكون للحديث عن السرعة أي معنى .

وفي هذا الكون الواسع ذي المجرات والنجوم لن نستطيع أن نعرف أيها الثابت وأيها المتحرك ، بل كلمة الثابت هنا لا معنى لها . فكلها في حركات دائمة مستمرة معقدة ، وإذا أردنا أن نتكلم عن سرعة من السرعات فإننا نقول سرعة كذا بالنسبة لكذا . أما أن نذكر السرعة ولا نذكر بالنسبة لأي شيء فيكون كلامنا فارغاً .

وأخشى ما أخشاه أن يكون كلامنا فارغاً في الحالين .

وبهذه المناسبة يجب أن نذكر قول العلامة الكلاسيكي نيوتن *Newton* في هذا الخصوص . يقول بأننا لا نستطيع أن نعرف أن سفينة تتحرك في عرض البحر أو واقفة فيه بأي اختبار يمكن أن نجريه داخل السفينة ، وإذا أردنا أن نعرف ذلك فعلياً أن نلجأ إلى اختبارات أخرى تصلنا بخارج

السفينة ، كأن نطلع على سطحها وننظر إلى قمم الجبال على الشاطئ ، ونرى إن كنا نقرب منها أو نبتعد عنها أو أن المسافة بيننا لا تتغير . أو كأن ندلي بعصا في الماء فترى التيار الذي يتكون حول العصا فنعرف اتجاه حركة السفينة وتقدير سرعتها من اتجاه التيار المتكون حول العصا وسرعته . وإذا حدث أن غمسنا العصا في الماء فلم يتكون حولها تيار في أي جهة من الجهات فإننا نعرف عندئذ أن السفينة واقفة لا تتحرك . أما الاختبار الذي يدلنا على حركة السفينة ونحن بداخلها فلم يوجد بعد ، ولا يمكن أن يوجد .

وكذلك نحن على الأرض ، وكذلك كل جرم سماوي .



تلمح الأشجار والبيوت وهي تمر أمام عينيك بسرعة خاطفة ، وإذا مررت بسيارة أخرى واقفة على جانب الطريق فإنها تمر أمام عينيك بسرعة الأشجار والبيوت بحيث لن تستطيع أن ترضي حب استطلاعك في معرفة السبب الذي وقفت السيارة الأخرى لأجله ، مع أنك تتحرك شوقاً إلى ذلك . وإذا شئنا أن ندخل الحساب - كما هي عادتنا التي أصبحت نألفها الآن - نقول إن سرعتك مئة ميل في الساعة في سيارتك بالنسبة للأرض . وسرعة السيارة الواقفة صفر بالنسبة للأرض . وسرعتك بالنسبة للسيارة الواقفة هي مئة ميل في الساعة . وهذا حساب بسيط جداً .

## سُرعة الضوء في النسبية

إذا طلبت النظرية النسبية منا أن نسلم لها بأن كل حركة نسبية ، بناء على الغاء الاثير ، فأعتقد أنها لا تطلب كثيراً ومطلبها عادل سهل الفهم نستطيع استيعابه وقبوله على الرجب والسعة ، وأظن أن الامثلة التي ضربناها تفسر ذلك .

ولكنها تفرض فرضاً آخر وتطلب منا أن نسلم لها به . وهذا الفرض عن سرعة الضوء . فهي تقول بأن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة للمشاهد .

أظنك قد ركب السيارة كثيراً أيها القارئ . فركوب السيارات هو الازعاج الذي أصبح ضرورة لازمة للفرد في النصف الثاني من القرن العشرين ، وهو كالمزعجات الأخرى التي تفرضها الحضارة علينا ، فإذا ما استغنيت عنها اعتبرك الناس متأخراً . مهما يكن من أمر ، فليس هذا هو موضوع الحديث .

إذا كنت تركب سيارة في طريق ما ، بين بلدين ، وكانت السيارة مسرعة جداً - كما هي عادة كل السائقين - وسرعتها مئة ميل في الساعة بحسب العداد الذي يقيس السرعة ، فإذا نظرت إلى جانبي الطريق

لكن دعنا نكمل رحلتنا بالسيارة نفسها وبالسُرعة نفسها ، وستقابلنا سيارة أخرى مسرعة جداً متجهة عكس اتجاهنا تسير بسرعة مئة ميل في الساعة أيضاً . أنها ستمر بالنسبة لأعيننا بأمرع مما مرت به الأشجار والبيوت والسيارة الواقفة . دعنا نحسب سرعة سيرها بالنسبة لنا . إنها تساوي سرعتنا بالنسبة للأرض مضافاً إليها سرعتها بالنسبة للأرض - أي بسرعة مئتي ميل في الساعة ، فلا تكاد تميز ملامح من يسوقها ولا تسكاد تعرف إن كان رجلاً أو امرأة ، على الرغم من رغبتك الشديدة في معرفة ذلك .

ولنفرض الآن أن سيارة أخرى كانت تسير بجوارنا محاذية لنا وفي اتجاه سيارتنا ، وكانت سرعتها مئة ميل كسرعة سيارتنا تماماً . فلن يسبق أحدهما الآخر ، وستظل السيارتان متحاذيتين ، وسيتمكن ركاب أحدهما من رؤية ركاب الأخرى ، ويتداولون اطراف الحديث ، وكأنهم جالسون على الأرض لولا ازعاج صوت السيارتين . والسبب في ذلك هو أن سرعة السيارتين بالنسبة لبعضهما البعض تساوي صفرًا . وكل ما عملناه في هذه الحالة هو أن قمنا بعملية طرح السرعتين أحدهما من الأخرى .

هل فهمت متى تجمع السرعات مع بعضها البعض أو تطرحها من بعضها البعض أيها القارئ الصابر ؟



ولتأت الآن إلى مثل آخر ونحن لا نزال في سيارتنا المتدفة بسرعتها الأولى . كان أحد الركاب معنا أحرق يحمل مسدساً ، والحقي لا نعرف سبباً لتصرفاتهم . فسحب مسدسه وأطلق طلقة باتجاه سير السيارة ، ثم استدار وأطلق طلقة أخرى إلى الخلف عكس اتجاه سير السيارة . وكنا نعرف مسبقاً أن سرعة الطلقة من مسدسه هذا هي ألف ميل في الساعة إذا أطلقت من مسدس ثابت على الأرض . فكيف ستكون سرعة الطلقة باتجاه السيارة وكيف ستكون سرعتها عكس ذلك ( بالنسبة للأرض طبعاً ) ؟



شكل (٧) الأحرق الذي أطلق النار

أرأيت إلى الحقي كيف يجلبون لنا المشاكل أيها القارئ ؟ فلو لم يطلق النار لما أتبعنا في الحساب . لكن يظهر أنه خفيف الظل ، فخفة الظل والحقي متلازمان في كثير من الأحيان ، ولهذا نجد أن المسألة بسيطة . وقد تعلمنا كيف ومتى نجمع السرعات ونطرحها . وبناء على ذلك ، ستكون سرعة الطلقة الأولى التي أطلقت باتجاه السيارة :

$$١٠٠ + ١٠٠٠ - ١١٠٠ \text{ ميلاً في الساعة بالنسبة للأرض . وستكون}$$

سرعة الطلقة الثانية التي أطلقها الأحرق عكس اتجاه السيارة :

$$١٠٠٠ - ١٠٠ = ٩٠٠ \text{ ميلاً في الساعة بالنسبة للأرض . صواب بسيط ،}$$

خفيف الظل غير أحرق . وكل كلامنا معقول حتى الآن

ولنتدرج مع القارئ على هذا المتوال من جمع السرعات وطرحها . ولنفرض أن السيارة كانت تقلنا إلى مرصد من المراصد تلبية لدعوة العالم الفلكي صاحب المرصد الذي كان صديقاً لأحدنا . فأخذنا العالم إلى التلسكوب وأخذ يرينا الكواكب والنجوم والمجرات . ودلنا على نجم من النجوم وقال إن هذا النجم يسير نحو الكرة الأرضية بسرعة مئة ألف ميل في الثانية - ( أو أن الكرة الأرضية تسير في اتجاهه بهذه السرعة ، لم يعد الآن لدينا فرق بين التعبيرين لا سيما وقد أصبحنا نفكر بالابعاد الأربعة ) .

إننا نتنظر عندئذ أن تكون سرعة الضوء التي تصلنا من هذا النجم كما يلي :

$$١٨٦٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠ = ٢٨٦٠٠٠ \text{ ميلاً/ثانية .}$$

وبعد ذلك دلنا العالم الطيب على نجم آخر يبتعد عنا بسرعة ١٠٠٠٠٠ ميل في الثانية ( أو نحن نبتعد عنه بهذه السرعة ، يا صاحب الفكر ذي الأبعاد الأربعة ) إننا نتنظر أن تكون سرعة الضوء في هذه الحالة :

$$١٨٦٠٠٠ - ١٠٠٠٠٠ = ٨٦٠٠٠ \text{ ميلاً/ثانية .}$$

أليس كذلك ؟

نعم ، ليس كذلك .

فالنظرية النسبية الخاصة ترفض هذا التسلسل المنطقي المعقول ، وتطلب منا أن نسلّم لها بالفرض التالي : وهو أن سرعة الضوء دائماً ثابتة بالنسبة للمشاهد ، لن تتغير بحال من الأحوال ولا يمكن أن يكون للضوء سرعات مختلفة مهما اختلفت النسبة بين سرعة المشاهد وسرعة مصدر الضوء . ومعنى هذا أن سرعة الضوء الذي يأتينا من النجم البتعد عنا بسرعة مئة ألف ميل في الثانية وسرعة الضوء الذي يأتينا من النجم الآخر الذي يقرب منا بسرعة مئة ألف ميل في الثانية ، يجب أن تكون في الحالتين واحدة ! وليس ذلك فقط ، بل إننا لو فرضنا أن هناك نجماً يقرب منا بسرعة



الضوء ( وهذا فرض مستحيل طبعاً ) فإننا سنجد أن الضوء الذي يصلنا منه سيكون بسرعة الضوء العادية ! وسوف يصلنا بنفس السرعة التي يصلنا بها ضوء آت من نجم يبعد عنا ١٨٥٠٠٠ ميلاً في الثانية !

أعزني عقلك الآن حقاً !

إن آينشتاين حين يقرر هذا يعرف أنه يتحدى مفاهيمنا وعقولنا ويعترف بذلك ويقول : « ما العمل إذا كان هذا هو من قوانين الكون الأساسية ؟ »

وبناءً على ذلك ، فإن سرعة الضوء بالنسبة للمشاهد هي سرعة مطلقة . وهي في الواقع الشيء المطلق الوحيد الذي تطلبه منا النظرية النسبية .

وسنأتي إلى زيادة الايضاح في ذلك عندما نأتي إلى قانونه المتعلق بجمع السرعات .

على أية حال ، فإن آينشتاين لا يعتبر هذه السرعة هي سرعة الضوء وحسب ، إنما يعتبرها السرعة الكونية لجميع الظواهر الكهربائية المغناطيسية ، والضوء هو أحد هذه الظواهر ( ومن الظواهر الأخرى الموجات الكهربائية والتأثير المغناطيسي ) وكلها تنتقل بالسرعة نفسها .

وهي في الوقت نفسه الحد الأقصى للسرعة ومن المستحيل أن نجد جسماً من الأجسام يتسارع حتى يبلغها . أي أن أي جسم مادي مهما بلغت سرعته ، فلن يبلغ سرعة الضوء ، ومن العيب أن نتكلم عن سرعة أكبر منها .

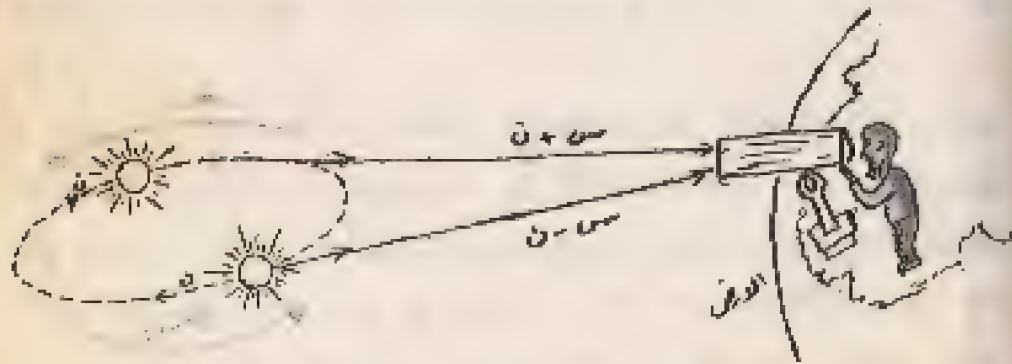
للدليل على ثبات سرعة الضوء :

مع أن ثبات سرعة الضوء هو فرض أو بديهية للنظرية النسبية إلا أن هناك من الدلائل ما يثبت صحتها . ولغرابتها وصعوبة تصديقها كان من

الضروري وجود بعض الأدلة على ذلك حتى نستطيع استيعابها قبل الدخول في تفاصيل النظرية . وبهذا لا نكون قد سلمنا آينشتاين بهذه البديهية تسليماً أعمى .

فالاختبارات التي يختص بها الفلكيون - وما أكثر اختباراتهم - تدل على أن الضوء الواصل إلى الأرض من أي نجم كان - سواء كان هذا النجم يبعد أو يقترب من الأرض - هو ذو سرعة ثابتة .

وبالإضافة إلى ذلك ، فمن المعروف عند الأساتذة الفلكيين أن كثيراً من النجوم ثنائية ، بل أن حوالي نصف النجوم التي يعرفونها هي كذلك . ونعني بهذا القول أن نجمين ( أو شمسيتين كبيرتين إذا شئت هذا التعبير ) تلوران حول مركز مشترك في مدار واحد ، يسير كل نجم منهما عندئذٍ نصف دورته حول المركز المشترك وهو يبعد عنا ، والنصف الآخر من



شكل (أ) سرعة الضوء من نجم ثنائي

الدورة وهو يقترب منا ( شكل ٥٨١ ) . فإذا فرضنا أن سرعة النجم في مداره كسرعة الأرض في مدارها : ١٨,٥ ميلاً ثانية ( وهو في الغالب أسرع من ذلك ) كان الفرق كبيراً ما بين سرعة الضوء الصادر عنه في الذهاب ، وسرعة الضوء الصادر عنه في الإياب . ولتستعمل الرموز لكي تقارب العلماء في لغتهم فنفرض أن سرعة الضوء (س) وسرعة النجم (ن) ،



فستكون سرعة الضوء في الذهاب من -ن وسرعته في الاياب من +ن .  
وإذا كانت سرعة النجم حول مداره كما ذكرنا ١٨,٥ ميلاً-ثانية ،  
فسيكون الفرق ما بين السرعتين ٣٧ ميلاً-ثانية .

وإذا كان بعد النجم عنا مئة سنة ضوئية ( وهذا بعد عادي للنجوم  
الثنائية التي يعرفها الفلكيون ) ، فإن هذا الفرق الضئيل سيعطينا فرق اسبوع  
ما بين النجم وهو يبتعد عنا وبينه وهو يقترب منا . وسينعكس هذا الفرق  
كلما دار النجم نصف دورة . وسرى عندئذ أمراً غريباً حقاً لا نكاد  
نعرف منه أن هناك نجمين ثنائيين يدوران حول مركز مشترك ، وإنما سيبدو  
لنا منظر مشوش جداً لا نكاد نفهم منه شيئاً . وسأشرح لك ذلك بواسطة  
شاشة السينما .

هل تحب السينما مثلي أيها القارئ ، إنني أحبها ولكن متعة الحديث  
إليك هي التي منعني عن حضور آخر الأفلام . وقد كنت منذ عهد - لا  
أود أن أحده - أحب أفلام طرزان ويستهويني جمال شيئاً وتعجبي هيئة  
الأسد .

لنتصور الآن منظرًا من المناظر المألوفة في مثل هذه الأفلام ، وقد  
بدأت الشاشة عرضها . طرزان نائم إلى الشمال ، وتأتي شيئاً لتوقظه من  
نومه لأنها رأت أسداً قادماً من اليمين . يصحو طرزان ويهب واقفاً ، فيظهر  
الأسد ويجمع نفسه ويهجم على طرزان ، فيلجمه هذا لكمة بقبضة يده  
يقع منها الأسد على الأرض . فيضع طرزان يديه على خصره ويقف يتأمل  
الأسد وهو منطرح على الأرض ، فينهض الأسد ويولي هارباً ويجلس  
طرزان وعلى وجهه ملامح النصر .

وقد تكون لا تحب طرزان ولكن هذا هو المنظر الذي اخترته لك .  
فأمرك الله .

ولنفرض الآن أن هناك خللاً في آلات السينما بحيث أصبحت الأشعة  
من النصف الايمن من الشاشة تتأخر عن تلك التي تصدر عن النصف

الايسر منها ، فماذا سرى ؟ سرى منظرًا كالتالي :

طرزان نائم فتأتي شيئاً وتوقظه من نومه ، فيصحو ويهب واقفاً ،  
ويلكم النصف الآخر من الشاشة لكمة قوية بقبضة يده . وهنا نرى أسداً  
يظهر من الناحية الأخرى فيضع طرزان يديه على خصره ويقف يتأمل ،  
فيهمجم عليه الأسد ، فيجلس طرزان وعلى يديه ملامح النصر ، فينطرح  
الأسد على الأرض لحظة من الزمن ثم ينهض ويولي هارباً .

منظر مشوش جداً . أليس كذلك . بلى .

منظر كهذا ينتظر الفلكيون أن يروه فيما إذا كانت سرعة الضوء تختلف  
في ذهاب النجم وفي إيايه في النجوم الثنائية . ولكن التلسكوبات كلها  
ترىهم أن هذه النجوم سائرة على ما يرام وليس هناك تشويش في منظرها  
إطلاقاً ، وأن سرعة الضوء الصادر عن النجم في الذهاب والاياب واحدة  
لا تتغير .

إذن فالفرض الثاني الذي تقوم عليه النظرية النسبية هو صحيح أيضاً .  
وإذا كنا لا نستطيع أن نتصور أن إضافة سرعتين إلى بعضهما البعض  
سوف لا يزيد سرعة الضوء بحال من الأحوال ، فما هذا إلا عجز في  
تفكيرنا ، عجز لا نستطيع معه أن ندرك هذا الثابت الكوني . أما هذا  
الثابت الكوني فهو موجود على ثباته ، كحقيقة من حقائق الكون ، شئنا  
أم أبينا .



القياسات التي سجلتها آلاته الدقيقة عن الجسم الآخر المتحرك ، كالطول والكتلة والزمن ... الخ . وسوف نعتبر أن قياساته صحيحة جداً وأن آلاته لا تخطئ .

وفي سبيل إيضاح ذلك نفرض أن هناك سفينتين فضائيتين متماثلتين ولنطلق على أحدهما اسم « أ » وعلى الأخرى اسم « ب » ( شكل ٩ ) ، وهما تسيران في أرجاء الفضاء ، وسرعتهما النسبية « ف » بالنسبة لبعضهما البعض . وكل منهما مزودة بمقاييس دقيقة متماثلة قارناها مع بعضها البعض قبل أن نطلقهما في الفضاء . فساعة « أ » هي تماماً كساعة « ب » ، والمسطرة كالمسطرة وهكذا . وعندما كانتا تمران بالقرب من بعضهما البعض كل واحدة سائرة في اتجاه مختلف عن اتجاه الأخرى كانت ساعتاهما تدلان على الوقت نفسه . وفي تلك اللحظة يتفجر نجم بعيد فلا يشعران به لأن الضوء لم يصلهما بعد .

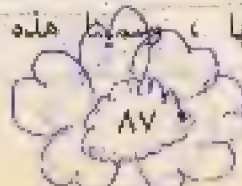
وبعد وقت معين من الزمن تصلهما أشعة النجم المتفجر عندما يكونان قد بعدا عن بعضهما البعض بمقدار المسافة ( م ) . وبناء على الفرض الثاني سريان الضوء الآتي من النجم بالسرعة نفسها . وبما أننا وضعنا ( س ) لرمز سرعة الضوء الذاهب إلى « أ » و ( س' ) لرمز سرعة الضوء الذاهب إلى ( ب ) ، فنستطيع أن نقول بأن س - س' . وقد رمزنا لبعد ( أ ) عن النجم بالحرف ( ن ) ولبعد ( ب ) عنه بالحرف ( ن' ) ثم نرمز لزمن ( أ ) بالحرف ( ز ) وزمن ( ب ) بالحرف ( ز' ) ونبدأ البحث .

وتسمى القوانين الناتجة قوانين لورنتز Lorentz وإذا كان القارئ لا يزال يذكر اختبار ميكلسون مورلي وتفسيرات الفيزياء الكلاسيكية لحيلته ( أي خيبة الاختبار : لا خيبة القارئ ) ، فسيذكر أن أحسن تفسير آنذاك كان تفسير فترزجالد الذي قال بأن الأجسام السائرة في الأثير تنكمش وتقلص باتجاه حركتها ، وبذلك هذه الظاهرة انكماش فترزج

## قوانين النسبية الخاصة

كان الفرضان السابقان خرقاً في مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية وموضع الاستهجان لا من العلماء فحسب ، بل من المنطق البشري السليم آنذاك . وكان من الممكن أن يبقيا مجرد متعة ذهنية لو لم تقم عليهما نظرية متكاملة لا تفسر الظواهر التي تعترضها فقط ، إنما تعطي قوانين دقيقة وتنبأ بحقائق فيزيائية تثبت الاختبارات صحتها كل يوم .

ولكي نصل إلى ربط الفرضين السابقين مع القوانين التي تقوم عليهما النظرية ، ونرى مواضع تطبيقها ، يجب أن نضرب مثلاً يشمل على هذين الفرضين . وبما أن النسبية الخاصة تبحث في الأجسام المتحركة بسرعة ثابتة ، وتبحث في الضوء من حيث سلوكه في الكون ( أو حسن سلوكه ، لا فرق في التعبير ، لا سيما وأنه يتحلى بثبات مرعته في عين المشاهد ، والثبات في هذه الدنيا قليل ) فإن أحسن مثل يمكن أن تقدمه هو أن نجعل مشاهداً في سفينة فضائية يصف لنا جسماً يتحرك بسرعة ثابتة بالنسبة له ، إن مسلك الموجات الضوئية سيكون له أثر كبير على الوصف ، لأن انعكاس هذه الموجات عن الجسم وذهابها إلى عين المشاهد هو الذي يجعله يراها فيصفها . وما سيتكلم عنه المشاهد سيكون بناء على

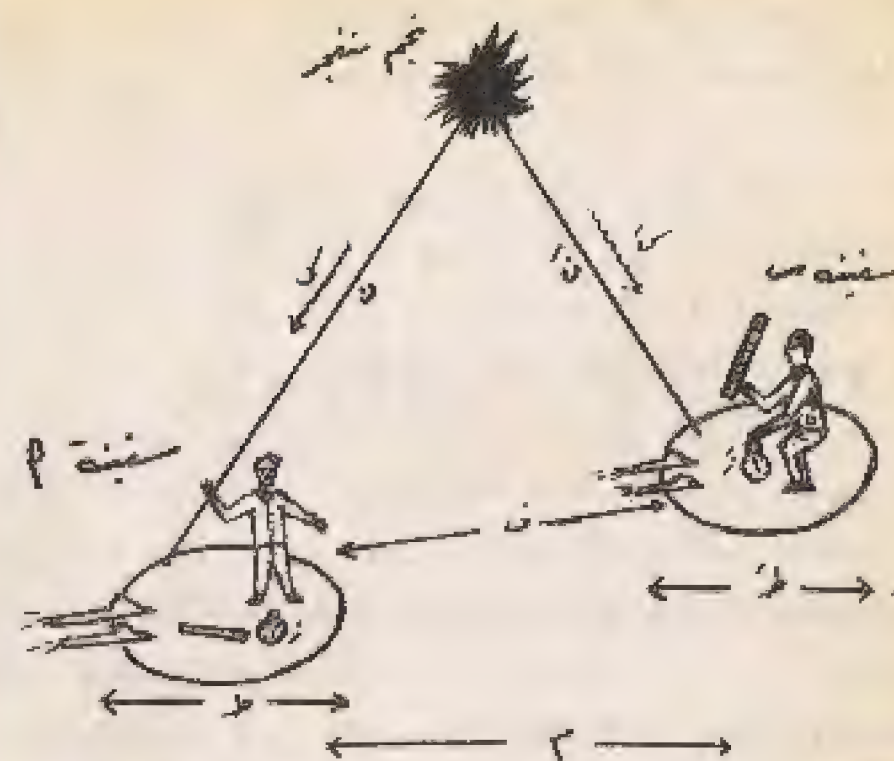




لورنتز تقول ، إن قانونه ينطبق أيضاً على بعض مجالات الكهرباء والمغناطيس .

وقد استعمل أينشتاين قوانين لورنتز نفسها في النظرية النسبية الخاصة . وهذه القوانين في هذه النظرية تنطبق على كل مادة ، مهما كان نوعها ، دون استثناء . وسنبداً الآن بشرح القوانين ، ويجب أن لا يتدهش القارئ إذا رأى نتائج غريبة غير متوقعة لأننا سنبنى كلامنا على فرضين غير مألوقين .

مهما يكن من أمر ، فإن النتائج التي ستوصلنا إليها قوانين النظرية النسبية ليست صعبة الفهم كما هو شائع عنها ، بل هي صعبة التصديق ، فإذا شئت افهمها ولا تصدقها .



شكل (٩) سفينتا الفضاء

باسم الذي شرحها نظرياً ، ولكن جاء بعده لورنتز ووضع التقدير الكمي للانكماش بالمعادلة التالية :

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

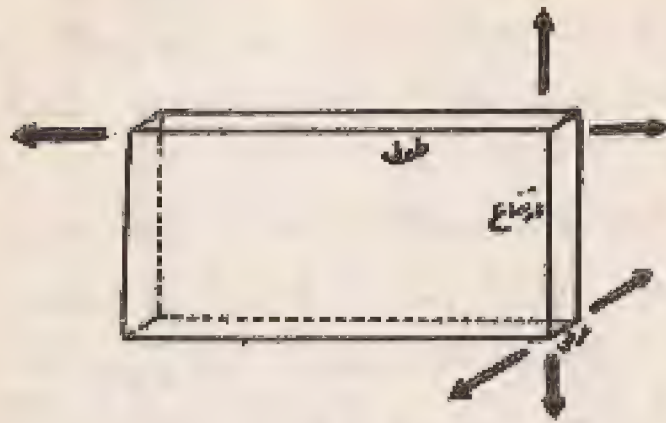
أ = سرعة الأرض في الأثير ، س = سرعة الضوء .

وقد قلنا فيما سبق أن التفسير النظري الذي وضعه فزجرالد ، كسان مصطنعاً لأنه وضع ليفسر حسالة خاصة جداً هي فشل اختبار ميكلسون مورلي ، والشيء نفسه يقال عن قانون لورنتز لأنه وضع التفسير النظري السابق على شكل قانون حسابي يبين لنا مقدار الانكماش . وإنصافاً

هذا هو التفسير



ان العرض إذا سار في هذا الاتجاه ينكمش ، والارتفاع كذلك .



شكل (١٠) البعد المنكمش

وفي الشكل (١٠) مكعب له طول وعرض وارتفاع كأني مكعب آخر ، قد يسير في اتجاه الطول إلى إحدى الناحيتين اللتين يدل عليهما سهمان ، وعندئذ يحدث الانكماش في الطول . أما إذا انطلق في الفضاء سائراً في اتجاه الارتفاع إلى إحدى الناحيتين اللتين يدل عليهما سهمان ، فإن الانكماش يحدث في الارتفاع . والحديث نفسه يقال عن العرض . على أية حال ، فالحديث فيما يلي سيكون عن الطول فقط ، ونعني بهذه الكلمة البعد السائر في اتجاه حركة الجسم .

ويعطينا آينشتاين مقدار انكماش طول الجسم أثناء سيره ، بالمعادلة التالية :

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

ط = الطول الجديد أثناء الحركة ، ط = الطول الأصلي وهو ثابت ،

## القانون الأول انكماش الطول

إذا بدأنا بالمفاهيم السابقة ، وجردنا الكون من مفاهيمه المطلقة (سوى سرعة الضوء) وعرفنا أن كل شيء متحرك ، وكل حركة نسبية ، فما هي المعايير التي سنستند عليها في قياساتنا في العالم الذي أصبحنا نفهمه الآن بشكل آخر غير الذي كنا نفهمه به من قبل ؟ وسنرى ضمن القوانين التي سنبحثها أن عالمنا في الواقع هو ذو أربعة أبعاد لا ثلاثة ، كما كانت تحدثنا الفيزياء الكلاسيكية .

كيف نقيس الأطوال ، أو بتعبير أصح كيف نقيس الأبعاد المسافية ؟ نقول النظرية النسبية الخاصة إن الأجسام تنكمش في اتجاه حركتها ، أي أن الانكماش يحصل في بعد الجسم المتجه مع الحركة ، لا في البعدين الآخرين . وبما أننا نفرض عساة أن الجسم يتحرك في اتجاه طوله ، لذلك نتكلم عن انكماش الطول . ولا أدري ما الذي يعجب الناس في الطول حتى يفضاونه على غيره من الأبعاد . حتى النسبية الخاصة عندما نتكلم عن انكماش البعد السائر في اتجاه الحركة تختار الطول لتتكلم عنه ، لأن آينشتاين يفرض أن الجسم يسير باتجاه الطول ، مع



ف = السرعة التي يسير بها الجسم ، س = سرعة الضوء .

أي أن الطول الجديد أثناء سير الجسم بسرعة معينة بالنسبة للمشاهد يساوي الطول الأصلي وهو ثابت بالنسبة للمشاهد مضروباً في عامل مبين في المعادلة السابقة . وهذا العامل مشتق من قوانين لورنتز وله علاقة بالسرعة النسبية للجسم .

ولنعد إلى المثل الذي ضربناه عن السفينتين الفضائيتين شكل (٩) .  
إننا قبل أن نطلقهما إلى الفضاء قمنا بقياس طوليهما . ولنفرض أن طول كل سفينة كان عشرين قدماً . سيقس « أ » طول « ب » فيجده عشرين قدماً . ولو أردنا أن نطبق المعادلة في هذه الحالة لوجدنا أنها تعطينا الرقم نفسه ، لأن السرعة بين « أ » و « ب » وهما واقفان تساوي صفراً :  
وبالتعويض نجد أن :

$$\begin{array}{r} \sqrt{20 - 20} \\ \hline 1 - \frac{0}{2} \end{array}$$

٢٠ - قدماً .

ولنفرض الآن أن « أ » و « ب » انطلقنا في الفضاء وأصبحت السرعة النسبية بينهما ٩٣٠٠٠ ميلاً-ثانية (نصف سرعة الضوء) وأراد أن يقيس « أ » طول « ب » . فيمكننا نحن أن نعرف ما سوف تسجله آلاته وذلك من تعويض الرموز بالأرقام في المعادلة السابقة .

$$\sqrt{20 - \frac{2(93000)}{2(186000)}} = 1$$

١٧ - قدماً .

ولو تيسرت الآلات الدقيقة في « أ » لقياس طول « ب » وهي سائرة بهذه السرعة النسبية لوجد أن طولها يساوي ١٧ قدماً ، كما كانت نتيجة المعادلة .

أما لو زادت السرعة النسبية بينهما حتى وصلت إلى ١٦٦٠٠٠ ميلاً-ثانية (أي ٠.٩ من سرعة الضوء) فسوف يصبح طول « ب » بالنسبة للسفينة « أ » عشرة أقدام فقط ، سواء بالارصاد الدقيقة أو بالحسابات والتعويض في المعادلة السابقة .

أما إذا فرضنا المستحيل وأصبحت السرعة النسبية بين « أ » و « ب » مثل سرعة الضوء ، فإن طول « ب » سيصبح بالنسبة لأرصاد « أ » وحساباته صفراً . أي لا يعود لها طول بالمرّة . وإذا عوضنا في المعادلة نجد أن الامر كذلك .

هذا هو شأن « أ » وقياساته وحساباته .

ونسأل الآن أنفسنا ، وكيف يكون الامر عندما يريد « ب » أن يقيس طول « أ » ؟ الواقع أن المعادلة بمفهومها وحساباتها ستطبق (حرفياً) ، وسوف يحصل « ب » على النتائج نفسها التي حصل عليها « أ » ، فلماذا كانت سرعتيهما النسبية ٩٣٠٠٠ ميلاً-ثانية ، فسوف نجد أن طول « أ » ١٧ قدماً ، وإذا كانت ١٦٦٠٠٠ ميلاً-ثانية سيكون طول « أ » ١٠ أقدام ... وهكذا .

ويجب أن يكون معلوماً للقارئ أننا نعني بالسرعة النسبية هي سرعة كل منهما بالنسبة للآخر ، وسوف لا يكون هناك أي فرق فيما إذا كانا يتبعدان عن بعضهما البعض أو يقتربان من بعضهما البعض .



والآن ، ماذا ستكون النتيجة : إذا ما أراد  $10^8$  أن يقيس طول نفسه ، مع العلم بأن هناك سرعة معينة  $10^8$  بينه وبين  $10^8$  فإنه سوف يجد دائماً أن طوله عشرين قدماً مهما كانت سرعته بالنسبة إلى  $10^8$  أو بالنسبة إلى أي شيء آخر . والشئ نفسه فيما لو أراد  $10^8$  أن يقيس طول نفسه .

ويمكن أن نضع هذا القانون بالكلمات التالية : إذا ما تحرك مشاهدان بالنسبة لبعضهما البعض ، سواء أكانا يقتربان أم يبتعدان ، فسيبدو لكل منهما أن الآخر قد انكمش في اتجاه حركته ، ولن يجد المشاهد أي أثر للانكماش في طوله نفسه .

ويجب أن يعلم القارئ أن هذا الانكماش يسري على جميع الاجسام المادية المتحركة ، وب نفس النسبة التي يحددها القانون الأول لا فرق في ذلك بين قضيب من مطاط وقضيب من فولاذ .

وهذا القانون نفسه هو الذي يفسر للقارئ خيبة اختبار ميكلسون مورلي : إذ أن المائدة الصخرية التي اقيم عليها الاختبار تنكمش في اتجاه الرياح الأثرية ( وهو اتجاه حركتها ) بالمقدار الذي تحدده معادلة القانون الأول . وهذا هو مقدار تأخير أشعة الضوء مع الأثير وضده .

ومن اللطيف هنا أن نذكر تفسير الأستاذ آينشتاين لهذه الظاهرة فيما نشره عنها سنة ١٩٠٤ قال :

« إننا هنا نعالج ظاهرة كونية هي انكماش الفضاء نفسه . وكل الاجسام المتحركة بالسرعة نفسها تنكمش بالطريقة نفسها ، وذلك لأنها مغمورة في الفضاء المنكمش نفسه . »

هل سمعت أنها القارئ بالمثل الذي يقول : « جاء بكحلها فأعماها » . أظننا بلا شك أننا نفهم القانون الأول قبل أن يتدخل الأستاذ آينشتاين لإيضاحه . وعندما أراد أن يفسره لنا زاده تعقيداً . الفضاء ينكمش  $11^2$  الفضاء يتقلص  $11^2$  إلى أرى هذا الرجل

يستعمل الفضاء كالكور الذي يتفخ به الحداد على النار ، فيجده أنى شاء ، ويطبقه أنى شاء !

لكن يجب أن لا ننظم الرجل فهو لم يتكلم لنا عن الفضاء بعد . مهما يكن من أمر ، فنحن والحمد لله مستريحون في حياتنا اليومية على الأرض من ازعاج هذا القانون لأعضائنا ، على الرغم من أهميته البالغة في فهم الأسس الفيزيائية . فلا نلاحظ أن السيارة تقصر وهي تسير ، ولا نرى أن وجه الانسان يتفلطح وهو راكض . والسبب في ذلك هو أن أكبر السرعات التي نمارسها في الحياة اليومية لا تزال ضئيلة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، فالسيارة السائرة بسرعة ٥٠ ميلاً في الساعة ينكمش طولها بعامل

قدره  $1 - (10^{-10})^2 = 0.9999999999999999$  أي تنكمش بمقدار

قطر نواة الذرة . والطائرة النفاثة التي تسير بسرعة ٦٠٠ ميل في الساعة تنكمش بمقدار قطر الذرة . والصاروخ السائر بين الافلاك في الفضاء والبالغ طوله مئة متر وسرعته ٢٥٠٠٠ ميل ساعة ينقص طوله بمقدار جزء واحد في المائة من المليمتر .

نستنتج من ذلك أن ظاهرة الانكماش هذه لا يمكن أن نلاحظها على سطح الأرض ، فمهما بلغت أجهزة العلم الحديث من الدقة قلن تستطيع على الأقل في العصر الذي نعيش فيه - أن تقيس الانكماش الضئيل الذي تنكمشه الأجسام المتحركة بالسرعات التي نعرفها حالياً .

ولإعطاء فكرة عن مقدار الانكماش الحاصل أثناء السرعة نفرض أن لدينا متراً على الأرض ، جعلناه يسير في الفضاء بسرعة ٥٠ بالئة من سرعة الضوء فسنجد أن طوله أصبح ٨٦ سنتيمراً ( أي ٨٦ بالئة ) ، وإذا جعلناه يسير بسرعة ٩٠ بالئة من سرعة الضوء يصبح طوله ٤٥ سنتيمراً وإذا سار بسرعة ٩٩ بالئة من سرعة الضوء نجد أن طوله أصبح أربعة عشر سنتيمراً فقط .



## ألف ليلة وليلة :

للاستاذ جورج جامو كتاب يشرح فيه النظرية النسبية على شكل قصة تقع في بلد خيالي تكون فيه سرعة الضوء عشرين ميلاً في الساعة ، ويسمي هذا البلد بلد العجائب . والمكان الذي تكون فيه سرعة الضوء عشرين ميلاً في الساعة هو بلد العجائب بكل تأكيد . على أية حال ، فالقصود من القصة هو إبراز الظواهر الكونية حسب مفاهيم النظرية النسبية عندما تقارب حركة الأجسام سرعة الضوء . واسم الكتاب « تويمكين في بلاد العجائب » *Tompkin in Wonderland* . ونظراً لصعوبة الاسم في اللغة العربية نرى أن نختار اسماً عربياً على الوزن والقافية ، ونسميه « محسن » . بعد الاستئذان من الأستاذ توفيق الحكيم طبعاً ، فهو بطله الذي يمثل شخصيته في رواية « عودة الروح » و « عصفور من الشرق » ولا أذكر إن كان كذلك في قصص أخرى .

وبما أن حقائق النسبية غريبة غير مألوفة بالنسبة للمفاهيم العلمية ، الكلاسيكية ، كقصص ألف ليلة وليلة بالنسبة لقصص الحياة الواقعية ، لهذا نستأذن القارئ في أن نروي له قصتنا على النمط نفسه .

وفي (الليلة الأولى) قالت شهرزاد : أيها القارئ السعيد ، لقد تزوج محسن سنية وعاشا معاً عيشة عادية ، وأنجبا عدداً غير قليل من الأولاد ، وسكنت معهم في البيت والده سنية . وأصبح محسن غارقاً في الديون ، لا يعرف أين يصرف راتبه الصغير ، على أولاده أو على زوجته أو على حماته . وقد أصيبت حماته بالأمراض العصبية كمعادة الحموات ، فأصبحت تشكو وتتألم من أطرافها ومفاصلها أثناء الليل وأطراف النهار ، وأصبحت لا تكاد تستطيع الحركة ، فقد أقعدت وانهدت قواها ، وانفتح بواب مصروف جديد على محسن ، فأخذ يحضر لها الأطباء واحداً بعد الآخر ويشتري لها من الأدوية ما يخف حمله وغلا ثمنه لكن دون جدوى . وكان

وهذه الأرقام أو النسب المثوية يستطيع القارئ بنفسه أن يحصل عليها ، إذا كان له إلمام بسيط بالرياضيات ، وذلك بواسطة معادلة القانون المار ذكره ، والتعويض بالأرقام بدل الرموز .

والآن ... ما الذي يعنيه هذا القانون بالنسبة لمفاهيمنا ؟

ما دام كل شيء في حركة ، وكل حركة نسبية ، فالمشاهد الذي يقيس طول جسمه والجسم المقاس بنكماشان حسب حركتهما . فالتر الذي يقيسه المشاهد (والسرعة النسبية بينهما صفر) ، هو طول يدل على متر بالنسبة لهذا المشاهد فقط ، أما مشاهد آخر يتحرك بسرعة نسبية أخرى فسيجد أنه يدل على طول آخر ، ومشاهد ثالث يتحرك بسرعة نسبية ثالثة يجد له طولاً يختلف عن الأول والثاني ، وهكذا . وقد نجد ألف مشاهد بألف سرعة نسبية مختلفة عن بعضها البعض بالنسبة للمتر فيعطينا كل واحد منهم طولاً معيناً يختلف عن الآخر . فأبي هذه الأطوال هو الطول الحقيقي المطلق للمتر . والواقع أن كل هذه الأطوال هي حقيقة بالنسبة للمشاهدين ، وليس هناك طول مطلق ، حتى المتر الذي نمسكه بأيدينا يختلف طوله إذا ما وضعنا محوره موازياً لخط الاستواء أو عمودياً عليه ، ولكننا لن نلاحظ أمراً كهذا لصغر كمية الانكماش أولاً ولأننا أنفسنا ننكمش مع الانكماش المتر ثانياً .

إنه لأمر لطيف أن نصبح في هذه الحياة غير متأكدين من أن المتر الذي نحمله في أيدينا هو متر حقاً ، وكل ما نستطيع أن نقوله عنه أنه متر بالنسبة لنا فقط . والظاف من ذلك ، أن هذا المتر يتغير طوله بين أيدينا إذا ما أدركنا اتجاهه ، فهو بطول ويقصر دون أن ندري ، لأن حواسنا لا تكتشف ذلك ، والظاف من ذلك كله أننا أنفسنا ننكمش ونتمدد تبعاً للاتجاه الذي ننظر إليه ، كما ينكمش المتر تماماً .

فما رأيك في هذا ، أيها القارئ المنكمش ؟



الاطباء يخبرون محسن أن مرض حماه نفساني ، وكان هو يعرف ذلك تمام المعرفة حتى قبل أن يحضرهم لها ويخبروه عن حقيقة مرضها ، ولكن ما العمل ؟ إن سنية تعتقد أن أمها مريضة ويجب معالجتها والأفناق عليها بسخاء ، وهو إذا تأخر عن الدفع اعتبروه تخيلاً وتغيرت نظرة سنية إليه . فكان عليه أن يجاري الأمور ، كعادة كل الرجال في بيوتهم .

أما سنية التي عهدناها في « عودة الروح » نشيطة مثقفة ، فبعد أن تزوجت لم تعد تقرأ كتاباً ولا مجلة ، وأصبحت معلوماتها العلمية وخير العلمية مستقاة من مجالس السيدات في استقباليهن ، ونسيت جميع ما تعلمته في المدرسة . ولم تعد تؤمن بالطب الذي عجز عن شفاء والدتها . وقد زارتها الحاجة زنوبة ( لم تكن قد حجت بعد في رواية عودة الروح ) ذات يوم وقالت لها بأن الأماكن المرتفعة تشفي الأمراض العصبية ، ونصحتها بالذهاب بوالدتها إلى جبال لبنان . فأخذت تلح على محسن بأن يقضوا عطلة الصيف هناك لعل والدتها تشفى . فاستدان محسن - فوق ديونه السابقة - بضع مئات من الجنيهات ، وأخذ العائلة كلها وقضوا صيفاً لطيفاً في جبال لبنان . وعاد الجميع بعد انتهاء الإجازة ولكن الحماة لم تتحسن أبداً .

وذاث يوم عندما كانت سنية تخرج من باب البيت ذاهبة إلى أحد الاستقبالات سمعت وعندها يتحدث مع بواب العمارة المجاورة ويقول :

- أنت بتحسني ايه يا اسطى عثمان ، لما تقعد تقول للواد حشفي لاني شايف راسي عالي زي الأهرام ؟ انا مش شايف راسي عالي زي الأهرام وبس ، أنا شايفه عالي زي هملايا .

فأجابه عثمان بغير اكتراث :

- هملايا ايه ده ، يا واد يا عبده ؟ هو فيه حاجة في الدنيا اسمها هملايا ؟ ما يكونش قصداك تقول هملايا ؟ وما دام كده اذكر الراجل

بتاع هملاية ، وقول جمل وخاصنا من الفلسفة . ذكر الستات في الامثال لازمت ايه ؟

- اسمع بقى يا واد يا عثمان . أنا ما اغلطش في الكلام أبداً ، انت عارف كويس ، طول روحك شويه . امبارح سمعت اولاد محسن بيه وهم بيداكروا ، بيقلوا إن أعلى هملاية في الدنيا اسمها هملايا . وحفظت لك الاسم ده على طول . علشان هملايا دي لازم تكون كبيرة قوي . - قصداك تقول انها أكبر من الأهرام ؟

- مش بس كده ، دي لازم تكون أكبر من خمستاشر أهرام فوق بعض ، ويمكن تكون أكبر من عشرين ، مين عارف ؟ وهنا سارت سنية في الطريق فتمسك عن الكلام الرقيق .

وفي ( الليلة الثانية ) قالت :

أبها القارئ السعيد ، عندما سمعت سنية الحديث بين عثمان وعبده ، أضافت إلى معلوماتها القديمة معلومات هامة جديدة . وفي صباح اليوم التالي سألت محسن كأنها تريد أن تتمحن معلوماته ( وهي في الواقع تريد أن تتأكد من صحة الاسم ) عن أعلى جبل في العالم . فلما قال لها هملايا ، أبدت إعجابها بثقافته ، وبدأت منذ ذلك الحين تلح عليه بأن يذهبوا جميعاً لكي يقضوا صيفاً في جبال هملايا لعل والدتها تشفى من مرضها ، ولا لزوم لذكر الحجج التي ذكرها محسن ، فإن حجج الرجل منها كانت قوية لن تقنع امرأة .

واستمر الحال على هذا المنوال سنتين أو ثلاث سنوات ، وسنية تطلب منه كل يوم الذهاب إلى جبال هملايا وتتهمه بأنه غير مهتم بمعالجة والدتها . حتى كان ذات يوم قرأ فيه محسن إعلاناً عن محاضرة ستأقي عن النسبية . كان محسن المسكين يذهب عادة إلى المحاضرات العامة ، فهي الترفيه الوحيد الرخيص الذي لا يكلفه شيئاً في وضعه الاقتصادي البائس . وكان مشتاقاً لسماع شيء عن النسبية بالذات ، لأنه يلتمس



شيئاً من هذه المفاهيم في بيته . فحماته بالنسبة له وبالنسبة للطب والأطباء غير مريضة ، ولكنها بالنسبة لنفسها ولايتها سنية مريضة . ومع انه لا توجد قيمة لرأي الطب ولا لرأيه في هذه الحالة إلا انه أحب الاستماع إلى المحاضرة وصمم على الذهاب لحضورها .

وكانت سنية ترافقه في كل مكان يذهب اليه بعد العمل حتى ولو إلى محاضرة . وكان لها في ذلك هدفان ( الاستماع إلى المحاضرة ليس منهما ) . الأول هو مراقبة عيون محسن والانتباه إلى انهما موجهتان إلى المحاضر فقط . والثاني هو رؤية آخر طراز تلبسه السيدات المستمعات ، لكي تطلب من محسن أن يشتري لها مثله ، ولكي تجد موضوعاً تتحدث فيه في المستقبل القادم .

وحدث أن لم يكن في محاضرة النسبية أية سيدة أنيقة - وهذا ما يتوقعه القارئ السعيد - فاطمأنت على عيون محسن ، ولم تجد ثوباً أنيقاً تنظر إلى قماشه وكيفية تفصيله ، وندمت على الحضور ، ولكنها اضطرت مرغمة على الاستماع إلى المحاضرة . وكان كل ما فهمته منها أن هناك سفناً فضائية سوف تصدرها شركات في ظرف مدة تتراوح ما بين عشر سنوات إلى خمس عشرة سنة . فهذاها تفكيرها إلى أن أحسن وسيلة لمعالجة الوالدة هي شراء واحدة منها ، ويجب حجزها فوراً .

ولما خرجا من المحاضرة ذاهبين إلى البيت ، كان محسن غارقاً في التفكير في القوانين الجديدة التي سمعها واستوعبها للمرة الأولى . وأدرك أنها القوانين التي حلت معظم الألفاظ العلمية في هذا الكون . ولكن سنية كانت تلح عليه طول الطريق الحاحاً شديداً بأن يقدم طلباً مستعجلاً للشركة التي تصنع السفن الفضائية ، ويحجز سفينة فوراً ، لأنها تريد أن تأخذ والدتها وتقوم برحلات في الفضاء لعلها تشفى من مرضها العضال . ومنذ ذلك الحين ، تغير نوع الاسطوانة التي كان على محسن أن يسمعها كل يوم عشر مرات على الأقل ، فأصبحت اسطوانة السفينة الفضائية

بدلاً من اسطوانة جبال هملايا .

هذا ما كان من أمر سنية ، يا قارئ النسبية ، فنمسلك عن الاحاديث الطولية .

وفي ( الليلة الثالثة ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، اضطلع محسن في فراشه ، ووضع رأسه على الوسادة ، وهو يفكر في امور ثلاثة : احدهما يقلقه ، والآخران يبعثان فيه الاعجاب . أما الذي يقلقه فهو كثرة الديون التي تراكمت عليه وتزداد يوماً بعد يوم ، والطلبات الجديدة التي تطلبها سنية وعليه تنفيذها . أي بالاختصار ، جميع ما يقلق المتزوجين الذين يعيشون على سطح الكرة الأرضية ، بما في ذلك الاستاذ توفيق الحكيم نفسه الذي اخترع لنا محسن . وقد استطاع محسن أن يتصور فرضيات أينشتاين وغرابتها ، ولكنه لم يستطع أن يتصور وجود زوجة تكفي بدخل زوجها كمصروف لها ولأولادها ولأمها .

أما الأمران الآخران اللذان كانا يستوليان على محسن وبعثان فيهما الاعجاب ، فأولهما معلومات زوجته العامة ، وثالثتها التي تتسع يوماً بعد يوم . فقد أصبحت تعرف السفن الفضائية بعد معرفتها لجبال هملايا . والمهم في معلومات السيدة سنية أنها تطبقها فوراً في حديثها دون تأخير . وهي بذلك تتميز عن غيرها من الناس الذين يعرفون معلومات يحتفظون بها نظرية فقط دون تطبيق ، فإذا عرفت جبال هملايا ( حتى ولو من عبده البواب ) فإنها تطلب أن تذهب إليها لمعالجة والدتها ، وإذا سمعت بالسفن الفضائية فإنها تطلب واحدة للسبب نفسه ، وإذا رأت ثوباً جميلاً طلبت مثله رأساً ، وهكذا ، فمعلوماتها كلها تطبيقية وهي دائماً في تقدم مستمر والحمد لله . شيء يثلج قلب محسن طبعاً .

وثاني هذين الأمرين هو اصحابه بالمحاضرة التي سمعها الليلة عن النظرية النسبية ، وإدراكه لغرابة قوانينها . كان يفكر فيما إذا كان باستطاعته أن



يطابق هذه المفاهيم على الأرض نفسها ويلغي المفاهيم الدارجة الأخرى .  
وأهم ما كان يشغله بالذات هو مفاهيم الدين . ليس من الممكن أن  
نطبق النسبية بحيث تلغي الدين كما ألغينا الأثير ، وأن يصبح الدين المطلق  
لا وجود له ؟ أو على الأقل أن تسير السندات المحفوظة ضده في المصارف  
والمستودعات بسرعة ٩٩ بالمئة من سرعة الضوء ليقراها المطالبون قراءة أقل  
من الواقع فيطالبونه بأربعة عشر جنيهاً عن كل مئة جنيه ؟ . ولكنه فكر  
قليلاً ووجد أن طول السند هو الذي سيتغير والكتابة ستتكسر ولكن  
الجواري سيقرأون الرقم على الرغم من افكاشه .

وفجأة غط في النوم وعلا منه الشخير ، فتمسك عن الحديث المثير .  
وفي ( الليلة الرابعة ) قالت :

أنها القارئ السعيد ، بعد أن استغرق محسن في النوم العميق ، وبعد  
ما عاناه من طلبات السيدة سنية لاحدى السفن الفضائية ، حلم حلماً  
غريباً حفاً ، وأظن القارئ لن يلومه في ذلك . فقد رأى نفسه في بلد  
غريب سرعة الضوء فيه عشرون ميلاً في الساعة ، وعلى ذلك فهو الحد  
الأقصى لأية سرعة في ذلك البلد . ونظر حواله فرأى أن كل شيء يبدو  
طبيعياً : العمارات الضخمة ذات النوافذ والابواب ، والارصفة الطويلة الملاصقة  
لها ، والدكاكين بأبوابها الزجاجية ، حتى الشرطي الذي كان يقف تحت  
المظلة في منتصف الميدان كان يبدو كأى شرطي آخر . وكانت الساعة  
المعلقة في الميدان تشير إلى الثانية عشرة ظهراً ، ولكن الشوارع كانت  
خالية من المارة .

ورأى فجأة في طرف الشارع دراجة قادمة تركبها عجوز شماء ،  
فيحلق عينيه ذاهلاً ، لأن العجوز والدراجة كانتا مفلطحتين بشكل لا يكاد  
يصدق العقل . فمجلات الدراجة ليست مستديرة كالعجلات التي يعرفها ،  
إنها بيضوية الشكل واقفة على أطرافها ولكنها مع ذلك تدور . وكان طول  
الدراجة من الامام إلى الخلف قصيراً جداً . وكأن شيئاً يضغطها في هذا

## الليلة السابعة



شكل (١١) حصة محسن على الدراجة

الاتجاه . وأدعى من ذلك وأمر أن العجوز كانت حماته فهو يعرفها تمام  
المعرفة مهما تشوهت خلقتها . إنها بعينها سوى أن أنفها الطويل قد قصر  
جداً وكذلك تراجع بروز خديها وحاجبيها وذقنها إلى الخلف . وكانت  
أذناها صغيرتين جداً باتجاه الحركة مستطيلتين باتجاه قامتها . وهذا ما زاد  
في دهشته فهو بعهدهما اثنتين كبيرتين . ولم يكن يستطيع أن يتصور  
حماته إلا على أنها أذنان كبيرتان ألصق بينهما جسم صغير ذو لسان  
طويل . ولم يكن الآن مجال بين فمها ومؤخرة عنقها لينسع للسان  
الطويل . يجب أن يكون لسانها الآن قصيراً جداً .  
وكان يبدو عليها أنها مستعجلة جداً فهي تحرك رجلها على دوايب



الدراجة بقوة وسرعة ونشاط ، وكأنها لم تعرف الأمراض العصبية يوماً واحداً في حياتها . كانت تحاول أن تزيد في سرعتها وكلما زادت بها ازداد تفلطح الدراجة وتفلطحها ، حتى أصبحت تبدو لمحسن وكأنها صورة نزع من حائط . وحتى قدر محسن أن طول لسانها كاد أن يصبح صفراً .

ومحسن كالرجال الآخرين الذين يسكنون مع حمواتهم ، لا يستغرب من شيء في هذا الوجود . فما يراه وما يسمعه في بيته كان يجعله يستغرب أول الأمر ، ولكنه اعتاد بحيث أصبح لا يرى شيئاً غريباً . فكل شيء محتمل الوقوع في الكون . ولكن هذا المنظر كاد أن يبعث في نفسه الاستغراب لولا أنه تذكر أنه في بلد هذه السرعة الأعلى للطبيعة فيه هي عشرون ميلاً في الساعة فقط . فلن تستطيع أية سيارة أو دراجة أو طيارة أن تصل هذه السرعة بل أن تتعدها . ونظر إلى شرطي المرور فوجده (واقفاً) تحت المظلة غير مكثرت لحركة المرور التي هو موكل فيها ، ولا يحمل في يده دفتر المخالفات لأنه متأكد من أن السيارات لن تتعدى الحد القانوني للسرعة ، فالطبيعة في تلك البلد هي التي توقف السائقين عند حدهم .

وفي تلك اللحظة مرت سيارة فخمة جديدة من سيارات السباق ، كان يبدو على سائقها أنه منهمك في الضغط بقدمه على ضاغطة البنزين بكل ما أوتي من قوة ، ولكن السيارة لم يكن يبدو عليها أنها تستطيع أن تزيد من سرعتها كثيراً عن سرعة الدراجة . فسيرها بطيء جداً ويبدو عليها أنها تجمد نفسها جرأ .

وهنا فكر محسن في أن يتبع حماته ويتأمل منظرها وهي عدسة اللسان ، وهو منظر لا يشتهي محسن وحده من بين المتزوجين أصحاب الحموات . فاستعار دراجة من إنسان واقف على الناصية ، وركبها وأخذ يسرع خلف حماته ، وينظر إلى نفسه هل سينكمش كما انكمشت . لكنه رأى أنه



شكل (١٢) محسن على الدراجة

لم يتغير فيه شيء ، حتى الدراجة لم تنكمش ، وظل طولها كما كانت عندما استعارها . إنما لاحظ أن العبارات المقامة على جانبي الشارع قد انكمشت عرضاً فأصبحت نحيلة وظل طولها على ما كان عليه ، والنوافذ والابواب فيها قد أصبحت مجرد شقوق صغيرة . والشارع الذي يسير فيه رآه قصيراً جداً ، ونظر إلى الشرطي فوجده نحيلاً جداً ولم ير في حياته إنساناً أكثر نحولاً . كان كل شيء قد انكمش حوله ، وكان الانكماش يزداد كلما ازدادت سرعته .

فأدرك اللنز الآن ، وعرف السبب ، وقال لنفسه « هنا تدخل النظرية النسبية » . وأدرك أن حماته عندما كانت مارة في الشارع أمامه رأت نفس ما رآه ، فلم تعرفه لأنه كان مفلطحاً ، ولهذا اعتقته واستمرت سائرة في طريقها .



وقد كان محسن من الماهرين في ركوب الدراجات ، فحاول أن يسرع حتى يترك حماته ، وكان يضغط على مكابيس الدراجة بكل ما أوتي من قوة . ولكن ازدياد سرعة الدراجة كان ثاقباً لا يكاد يلاحظه . وبدأ يحس بالألم في عضلات رجله ، ومع ذلك فإن المجهود الذي يبذله للحاق بحماته كان عيشاً . وفهم الآن السبب عندما تذكر جنادة قاتها المحاضر مؤداها أن من المستحيل أن نجد شيئاً يبلغ سرعته سرعة الضوء ، أو تزيد عنها .

ولمح حماته من بعيد وهي سائرة على دراجتها بنفس سرعته ، فهاله أن رآها طبيعية جداً ، لا أثر للانكماش في جسمها ولا في دراجتها ، ويظهر أن حماته قد هدأت من سرعتها عندما انعطفت في أول شارع فرعي ، فلم يكدر ينعطف حتى وجد نفسه يسير محاذياً لها ، وبالسرعة نفسها . فأخذ يتحدثان وهما سائران ، وإذا بها تحمل نفس اللسان والاذنين اللذين بعهدهما فيها منذ سنين . أما كل شيء آخر حولها فقد كان لا يزال منكشاً .

وأخذ يتحدثان حديث الحبيب إلى الحبيب ، فتمسك عن الكلام العجيب .

وفي ( الليلة الخامسة ) قالت :

أيتها القارئ السعيد ، ليس في بقي الليلة أن أحدثك عن قصة محسن وحماته ، وإنما أحب أن أذكر لك شعراً يعلق به الشاعر على انكماش الاجسام مع السرعة ، قال :

ليس في الهيجه كزئيد	فسواه السيف يعصى
وإذا حرك زئيد	نكص الاعداء نكصاً
مسرعاً أخيداً ورداً	كلما أدنى وأقصى
سرعة البرق وقد	ضل في الفيزياء حرصاً

بانكماش فزجرالد سيفه أصبح قرصاً

والواقع أن زيداً إذا كان يطعن بسيفه بسرعة الضوء ، فإن سيفه يصبح قرصاً لا سيفاً .

هذا ما كان من أمر انكماش الاجسام ، ومحسن لا يزال غارقاً في المنام .

<http://www.hazemsakeek.com>



وزناً ثم وزناهما بميزان لولبي (زنبلكي) فنجد أن عداد الميزان الزنبلكي يسجل القياس نفسه لكل منهما ، ويشير إلى رقم الرطل .  
والآن لنأخذ رطل القطن ورطل الحديد والميزانين إلى غور الأردن على شاطئ البحر الميت (أي أننا اقتربنا من مركز جاذبية الأرض) . فإذا وضعناهما في كفتي الميزان العادي نجد أنهما متساويان وزناً ، وإذا وضعناهما في الميزان الزنبلكي نجد أن وزن كل منهما يشير إلى رقم أكثر من رطل . ويمكن أن نصعد بهما إلى قمة جبل عال فنجد أن وزن كل منهما أصبح أقل من رطل وأنهما متساويان بالميزان العادي . والسبب في ذلك هو أن الجاذبية التي تخف وتزيد حسب ابتعادنا أو اقترابنا من مركز الأرض يكون لها نفس الأثر على الحديد والقطن في الميزان العادي ، فيخفان معاً ويثقلان معاً ، بينما يدل الميزان الزنبلكي على مقدار جذب الأرض لهما ، ولهذا تختلف قراءته حسب الانخفاض والارتفاع .

ويمكن عندئذ أن نقول إن رطل القطن في غور الأردن أثقل من رطل الحديد في القدس .

وبعبارة أخرى ، فإن الميزان العادي يسجل الكتلة أما الميزان الزنبلكي فإنه يسجل الوزن . والكتلة لا تتغير بالارتفاع والانخفاض . إذن كيف نعرف الكتلة تعريفاً أصح من الأول ؟

يقول الفيزيائيون إنها مقدار مقاومة المادة للتسارع ، أي إذا كان لدينا آلة بخارية وجعلناها تسحب عربة واحدة من عربات القطار فلإنها قد تسرع بها سرعة كبيرة ، ولنفرض أنها تبلغ مئة ميل في الساعة بعد خمس دقائق ، ولكن إذا جعلنا الآلة نفسها تسحب عشر عربات فلإنها قد لا تستطيع أن تصل حتى إلى سرعة خمسين ميلاً في الساعة بعد مرور خمس دقائق . ونقول عندئذ إن كتلة العربات العشر أكبر من كتلة العربة الواحدة (وكأننا قد اكتشفنا اكتشافاً خارقاً عندما قلنا هذه الجملة) أي أن العشر عربات تقاوم التسارع أكثر من الواحدة .

## القانون الثاني

### زيادة الكتلة بتزايد السرعة

كنا ونحن تلاميذ في الصفوف الابتدائية نسأل بعضنا البعض : أيهما أثقل رطل القطن أم رطل الحديد ؟ ولا أريد أن أخرج القارئ فأطلب منه الإجابة على هذه الاحجية ، فقد لا يعرفها بعض القراء السعداء . ولكنني أجيب عليها - انقاداً للموقف - بما كنا نحجب به ونحن في المدرسة بأن كلا منهما رطل ، فلا يحق لنا أن نقول إن هذا أثقل من هذا ، لأنهما متساويان .

ونحن بقولنا هذا قد نعني كتلة الرطل أو وزن الرطل في المكان الذي نقيس فيه . فالكتلة يعرفها معلمو المدارس بأنها مقدار المادة الموجودة في الجسم ، والوزن هو جاذبية الأرض لذلك الجسم . والكتلة في جسم معين لا تتغير مع البعد أو القرب من مركز جاذبية الأرض ، بينما الوزن يتغير . وعلى ذلك ، فإن إجابتنا عن الاحجية السابقة قد لا تكون صحيحة مئة في المئة .

لنفرض أننا كنا على سطح البحر ووزنا رطل قطن ورطل حديد بأن وضعنا كلاهما في كفة ميزان عادي ، وتأكدنا من أنهما متساويان







التي تفرضها تستطيع أن تحسب الآن تغير أي كتلة ، فقد أصبحت مطمئناً عليك أيها القارئ .

وما دمت قد وصلت أيها القارئ السعيد إلى هذه الدرجة من العلم ، وأصبحت تحسب ازدياد الكتلة بالنسبة للسرعة ، فإياك أن تخيب ظني فيك وتظن أن كتلة الجسم المزدادة تعني أن حجم الجسم قد زاد ، وإذا ظننت هذا كان معناه أنك قد نسيت القانون الأول الذي يتكلم عن انكماش الأجسام مع الحركة ، ومعنى هذا أيضاً أننا نصب أنفسنا فنعلمك قانوناً فتسئ الذي قبله ، وما تكاد تنتهي آخر صفحة من هذا الكتاب حتى تكون قد نسيت كل شيء . ومن يدري ؟ لعل ذلك أفضل ؟

المهم أن نعرف الآن أن الجسم مع السرعة ينكمش وتزداد كتلته في الوقت نفسه ، وإذا ازدادت سرعته كثيراً انكمش كثيراً وزادت كتلته كثيراً . أفهمت ؟ هذه هي عجائب العالم الفيزيائي الذي نعيش فيه ، كما تكشف عنها النظرية النسبية . وما لنا باليد حيلة .

وقبل أن نترك الحديث عن هذا القانون ، نطلب اليك أن تحل المسألة إذا ما كانت السفينة الفضائية « ب » تسير بسرعة الضوء ( وأظن أننا تفاهمنا من قبل على أن السير بسرعة الضوء مستحيل ) فكم ستكون كتلتها في نظر « أ » ؟

سنجد أن مقام المعادلة قد أصبح صغراً . وعندما نقسم البسط عليه يكون الجواب « إلى ما لا نهاية » ، أي أن كتلة « ب » أصبحت لا نهائية ، أي أكبر من كتل الكواكب والشمس ونجوم مجرتنا ونجوم جميع المجرات الأخرى ، لأن الفلكيين بطرقهم البارة يستطيعون أن يحسبوا كتل جميع الأجرام الفلكية ويعطونك رقماً تقديرياً لها . ولكنهم إذا اجتمعوا هم والرياضيين فلن يستطيعوا أن يحسبوا كتلة « ب » وهي تسير بسرعة الضوء لأنها ستصبح عندئذ أضخم من كل حساباتهم .

وبهذه المناسبة ، فإذا كان القانون الأول لا يزال عالقاً بذهن القارئ ،

وأراد أن يحسب طول السفينة « ب » وهي بسرعة الضوء فيجد أن طولها يساوي صغراً ، أي أنها انكمشت حتى تلاشت !

فتأمل معي كتلة لا نهائية وطول صفر لجسم من الأجسام « أ » إنني شخصياً لا أستطيع أن أتأمل ذلك ، فأرجوك أن تتأمل عني !  
لكننا لا يجب أن ندوم النظرية النسبية لأنها تضع حداً لمثل هذه التأملات ، حينما تقول بأن من المستحيل على أي جسم مادي أن يسير بسرعة الضوء . فتأملاتنا هذه إذن هي ضرب من المستحيل .

وفي ( الليلة السادسة ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، إنني لأشفق في الواقع على محسن عندما يرى حماته مغلطة ويظن أن لسانها قد قصر أو كاد يتلاشى . وهذه الميزة الظاهرية هي التي جعلته يتبعها رغبة منه في أن يراها ولا لسان لها . لم يكن يذكر آنذاك قانون ازدياد الكتلة بزيادة السرعة ، ولو ذكر ذلك لظل في مكانه أو اتجه إلى الشارع المعاكس . إنه يعرف لسانها تمام المعرفة عندما تكون السرعة النسبية بينهما صغراً . كان ذلك اللسان يصدر كلمات كلذع السياط . وقد تذكر القانون الثاني عندما كانت قد رأت فلم يستطع الرجوع ، فما هي الكلمات التي سيصدرها الآن بعد ازدياد كتلته ؟  
وقى الله محسن كل شر .

ولكنه ما كاد يصلها ويمشي محاذياً لها ، ووجد أن حجمها أصبح طبيعياً حتى قدر أن تكون كتلة لسانها طبيعية ، وذلك لأن السرعة النسبية بينهما أصبحت صغراً ، وهكذا حفظ الله محسن وأنقذه .

إلا أنه كان يشتهي من صميم قلبه أن تضطدم حماته بإحدى الشجرات المنكمشة على جانبي الطريق ، لا حباً في إبقاع الأذى ، وإنما ليرى كتلة حماته بالنسبة للشجرة ولكي يطبق القانون الثاني حق التطبيق . ولكن الخطأ الثاني لم يسعفه . فبقي القانون الثاني نظرياً لم يعرف تطبيقه عملياً ، والآن نمسك عن الكلام آنياً .



## اثباتات القانون الثاني :

إن العالم لم يصدق لأينشتاين لأنه كان يتحدث كلاماً نظرياً وحسب ، إنما صقق له لأنه قدم الحلول لمعضلات لم يكن لها حلّ بغير النظرية النسبية . وهذه الحلول عادة تؤخذ على أنها اثبات لصحة النظرية .

وبينما نجد أن القانون الأول هو أقل قوانين النظرية النسبية حظاً من حيث افتقاره إلى البراهين ، نجد أن القانون الثاني هو أغناها وأوفرها حظاً من هذه الناحية . أرأيت أنها القارئ ؟ قانونان اخوان ، أبناء نظرية واحدة أحدهما فقير والآخر غني : هذه هي الحياة .

## الاثبات الاول

وقد جاء أول اثبات لزيادة الكتلة بتزايد السرعة أيام مولد النظرية النسبية الخاصة ، عندما كان كوفمان **Kaufmann** يقوم بتجاربه على المواد المشعة ١٩٠٤ - ١٩٠٦ ، وكان بوخر **Bucherer** يقوم بالتجارب نفسها ١٩٠٩ . كانا يقومان بتجارب على أشياء لا صلة لها بالنظرية النسبية ، أو هكذا كانا يظنان . كان من المعروف آنذاك أن بعض المواد - كالراديوم مثلاً - تشع باستمرار وتنفذ بثلاثة أنواع من الأشعة تسمى ألفا وبيتا وجاما ( أي ا ، ب ، ج باللغة العربية ) ، ولكن العلماء مهما كانت جنسيتهم يفضلون أن تكون أسماء مكتشفاتهم باليونانية ، أو اللاتينية ، ويفتشون على أكثرها تعقيداً . وكان هذان العالمان يبحثان في أشعة بيتا ( أو جسيمات بيتا ) ويحاولان أن يعرفا ما طبيعتها . وأثناء تجاربهما درساً سرعة هذه الجسيمات عندما تنفذ من المواد المشعة ، ودرساً كمية الشحنة الكهربائية التي تحملها ودرساً كتلة كل جسيم .

كانت السرعات التي وجدوها يمكن مقارنتها مع سرعة الضوء . ووجدوا أن السرعة كلما ازدادت تزداد معها كتلة الجسيم . وبناء على ذلك فقد

وجدوا عدداً عديداً من جسيمات بيتا كل واحدة لها كتلة تختلف عن الأخرى . وبدأ هذين العالمين أن من غير المعقول أن تكون أشعة بيتا تحتوي على عدد كبير من الجسيمات التي تختلف عن بعضها البعض وتكون في النهاية الأشعة نفسها . كانت الفيزياء الذرية في مولدها آنذاك ، وكان العلماء يعتقدون بأن المادة مكونة من جسيمات صغيرة عديدة معظمها متشابه .

كان التفسير الوحيد أمام كوفمان وبوخر لهذه الظاهرة هو أن جسيمات المواد المختلفة لها سرعات مختلفة وأن الكتلة تزيد مع السرعة . وحين طبقا القانون الثاني من النظرية النسبية وجدوا أن كتلة هذه الجسيمات واحدة عندما يكون الجسم غير متحرك بالنسبة لنا ، أي أن كتلتها كلها متساوية عندما تكون السرعة النسبية بينها تساوي صفراً . وبالإضافة إلى ذلك وجدوا أن كتلة جسيم بيتا يساوي كتلة الكهربي أو الإلكترون . وعندما وجدوا أن هذا الجسم يحمل نفس الشحنة التي يحملها الإلكترون عرفا عندئذ أن أشعة بيتا الغامضة ما هي إلاّ الإلكترونات منطلقاً من المواد المشعة بسرعة عالية . كانت هذه النتيجة هي أول إثبات للقانون الثاني من النظرية النسبية الخاصة .

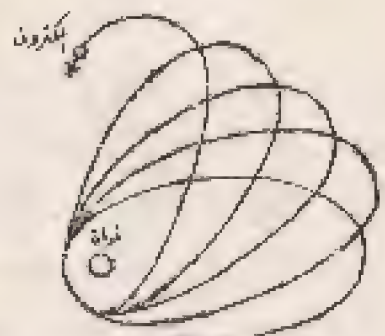
## والاثبات الثاني

هو نظرية سمرفيلد عن المدارات الذرية التي نشرها صاحبها بسنة ١٩١٦ . وقبل نشرها كانت نظرية بور **Bohr** تصور أن الذرة تتكون من نواة في المركز تدور حولها الإلكترونات في مدارات دائرية . ولكن سمرفيلد قال بأن الأصح هو أن الإلكترونات تدور في مدارات بيضوية حول النواة التي تقع في أحد مركزي الشكل البيضوي ، بالطريقة التي تدور فيها الكواكب حول الشمس ( شكل ١٣ )





مدار إلكترون ذي كتلة ثابتة



مدار إلكترون ذي كتلة صغيرة

شكل (١٣)

مدار الإلكترون

ولقد بين لنا كبار **Kepler** سنة ١٦٠٩ ، أن الكوكب الدائر حول الشمس تزيد سرعته وتنقص أثناء الدورة الواحدة بحسب قربه أو بعده عن الشمس في المدار البيضاوي الذي يدور فيه ، والفرق بين الحد الأعلى في سرعته والحد الأدنى فيها يكون كبيراً كلما ازداد تفلطح المدار ( أي كلما استطال شكله ) . وفي الواقع ان سرعة الأرض حول الشمس تتراوح ما بين ١٨.٥ ميلاً في الثانية و ١٩ ميلاً في الثانية . وهذا الفرق الضئيل سببه أن مدار الأرض حول الشمس ليس مستديراً كاملاً الاستدارة . وبما ان السرعة تتغير في المدارات البيضاوية الشكل ، كما أثبت كبار ، فإن المعادلة الثانية تقول بأن كتلة الكوكب أو الإلكترون يجب أن تتغير أيضاً . وكلما زاد التغير في السرعة زاد التغير في الكتلة . وهذا التغير

ضئيل جداً في الكوكب بحيث لا نستطيع أربادنا أن نكتشفه ، لأن الكوكب يسير ببطء شديد بالنسبة إلى سرعة الضوء . أما الإلكترون فمعدل سيره في مداره حول النواة حوالي جزء من مئة من سرعة الضوء ، ولهذا يمكن اكتشاف الفرق في السرعة وتغير الكتلة المترتب عليه . وقد أثبت سرفيلد حسابياً أن تغير كتلة الإلكترون المتعاقب سوف لا يتركه يدور في المدار البيضاوي نفسه ، وإنما يجب أن ينفصل المدار البيضاوي بالتدريج ( شكل ١٣ ) .

وعلى ذلك ، فإن معرفتنا لهذه الحقيقة أصبح يعتمد على ما إذا كنا سنثبت أن الإلكترون يدور في مدار بيضاوي ثابت حول النواة ، وسنكون عندئذ - كتلته ثابتة ، أو أن المدار البيضاوي ينفصل محوره شيئاً فشيئاً وتكون كتلته متغيرة . وإذا أثبتنا الاحتمال الأخير فسيكون اثباتاً للقانون الثاني من النظرية النسبية .

وقد يبدو لأول وهلة أن معرفة هذه الحقيقة ضرب من المستحيل ، فلا نستطيع أن نرى الذرة أو الإلكترون ونتكلم عن شكل المدار حتى بأكثر الميكروسكوبات . ولو استطعنا أن نرى النواة فلن نرى الإلكترون لسرعته الشديدة التي تبلغ جزءاً من مئة من سرعة الضوء .

ولكن هل نظن أمراً كهذا يعجز العلماء ؟ ليس من الضروري أن يروا الشيء لكي يحكموا عليه ، فانظر كيف يتلسلون .

هنالك آلة اسمها « محلل الطيف » تتكون من قطعة من الزجاج على شكل اسفين غليظ إذا دخلها الضوء تحلل إلى ألوان مختلفة هي : الأحمر والبرتقالي والأصفر والأزرق والبنفسجي . وقطعة الزجاج هذه تعمل ما تعمله قطرات المطر الصغيرة السابحة في الغيوم عندما تحلل أشعة الشمس وتكون قوس قزح .

وعندما ننظر خلال محلل الطيف ونرى هذه الألوان الجميلة نجد خلالها حزماً سوداء طويلة تختلف سمكاً وموضعاً حسب المادة التي تتخللها أشعة



الضوء . وتسمى هذه الحزم « الخطوط الطيفية » .

وقد أثبت سمر فيلد بحساباته أن الخطوط الطيفية يجب أن تكون إحدى حالتين : يجب أن تكون مجرد خطوط فردية ، إذا كان الإلكترون يدور في مدار ثابت حول النواة وكانت كتلته لا تتغير ، أو أن تكون خطوطاً منشقة طولياً إذا كان الإلكترون متغير المدار متغير الكتلة بتغير السرعة .



خطوط طيفية فردية



خطوط طيفية منشقة

شكل (١٤)

الخطوط الطيفية

وعلى ذلك فقد أصبحنا ننتظر المعرفة الأكيدة عن الخطوط الطيفية هذه نرى فيها إذا كانت فردية فيكون الاختبار عديم القيمة للنظرية النسبية . أو أن تكون منشقة وفي هذا اثبات للقانون الثاني منها .

ولكن انشقاق الخطوط الطيفية اكتشفه باشين Paschen سنة ١٩١٦ عندما كان يبحث طيف الهيليوم ، وأعلن عن اكتشافه هذا قبل أن ينشر سمر فيلد نظريته بشهر واحد . وبهذا تأكدت صحة النظرية .

أما الأثبات الثالث الذي سنورده هنا فهو بخصوص المسارعات الذرية Atomic Accelerators . فقد بنيت آلات ضخمة لتحطيم الذرة والبحث عن تركيب نواتها . والغرض الرئيسي من هذه الآلات هو أن تسارع جسيمات الذرة المختلفة حتى تصل إلى درجات عالية من السرعة . وكلما

كانت الآلات أضخم كلما استطعنا أن نصل بالجسيمات إلى سرعة أكبر ، وكلما ازدادت السرعة ازدادت الكتلة بناء على القانون الثاني من النظرية النسبية الخاصة .

وفي أوائل سنة ١٩٥٢ أعلن المختبر الوطني في بروكهافن Brookhaven National Laboratory أنه استطاع أن يسارع البروتون ( نواة ذرة الهيدروجين ) حتى وصلت سرعته ١٧٧٠٠٠ ميلاً ثانية أي حوالي ٩٥ بالمئة من سرعة الضوء . ونتيجة لذلك فإن كتلة البروتون زادت ثلاثة أضعاف . وفي حزيران سنة ١٩٥٢ أعلن معهد التكنولوجيا في كاليفورنيا California Institute of Technology بأنه استطاع أن يسارع الإلكترون حتى وصل به سرعة تقل عن سرعة الضوء بعشر ميل في الثانية ، أو ٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ س . فزادت كتلة الإلكترون ٩٠٠ مرة .

وإذا كنت بعد هذا كله لم تقتنع بكل هذه الإثباتات أيها القارئ السعيد فاقترح عليك أن تنشئ بنفسك مسارعاً ذرياً لتري صحة هذا القول بأم عينك .



المهم أننا متفقون على جمع واحد وواحد ، متفقون بحيث نعتبر هذا الأمر بدسماً لا حاجة بنا إلى البحث فيه ، ومن يخالف ذلك نعتبره جاهلاً جداً أو أقل من أن يكون جاهلاً جداً ! فكلمة « اثنان » وضعت في الأصل لتدل على واحد أضيف إليه واحد ! هل لديك شك في هذا الحساب أمها القارئ ؟ ولا أنا .

ولكن يأتي آينشتاين فيقول إن هنالك إحدى الحالات التي يكون فيها  $1 + 1 = 1$  . فيصفق له العلماء ويعتبرونه عبقرى زمانه !!

إن الشيء الوحيد الذي تبقى لنا مما تعلمناه في المدرسة هو جمع هذه الأعداد البسيطة وطرحها - كما سبق أن قلنا - ولكن الأستاذ آينشتاين يريدنا أن علمنا حتى في هذه الأشياء البسيطة ليس دائماً كذلك ، وهنالك حالات يكون فيها هذا العلم مشكوكاً في أمره .

وقد قلنا فيما سبق أن الفرض الثاني الذي اعتمد عليه آينشتاين عندما وضع النظرية النسبية هو ثبات سرعة الضوء بالنسبة للمشاهد مهما اختلفت السرعة النسبية بين المشاهد وبين مصدر الضوء . وقد قلنا أيضاً ، أن هذه الظاهرة ( ثبات سرعة الضوء ) هي الشيء المطلق الوحيد في النظرية النسبية .

وأخيراً لا نزال نذكر السيارة التي كنا نركبها بسرعة مئة ميل في الساعة ، والسيارة الأخرى التي قابلتنا سائرة إلى الجهة المعاكسة بسرعة مئة ميل في الساعة ( وهاتان سرعتان بالنسبة للأرض طبعاً ) ، وقلنا إن سرعتنا بالنسبة لبعضنا البعض هي مئتا ميل في الساعة . وقد وصلنا إلى هذه النتيجة بأن أضفنا سرعة سيارتنا بالنسبة للأرض إلى سرعة السيارة الثانية بالنسبة للأرض ، كما يلي :

سرعة سيارتنا بالنسبة للأرض + سرعة السيارة الأخرى بالنسبة للأرض = السرعة النسبية بين السيارتين .

وإذا فرضنا أن سرعة سيارتنا هي ( ف ) وسرعة السيارة الأخرى ( ف' ) ،

## القانون الثالث

جمع السرعات

$$1 + 1 = 1$$

$$0.9999 + 0.9 = 0.9999$$

$$0.8 = 0.5 + 0.5$$

هذه مسائل في الجمع ، لو نظر إليها الطالب في المدارس الابتدائية ، لاستغرب من جهل الذي جمعها . إذا أضفت واحداً إلى واحد فسيكون الناتج اثنين ، وهل هنالك شك ؟ وإذا وضعت المسألة الأولى أمام ابنك الذي لم يدخل المدرسة بعد ، فسوف يحلها . وهو يحلها في الواقع يومياً عندما يطلب منك أو من أمه تفاحة ثم يطلب تفاحة أخرى ويقول أريد اثنين . أما الكبار - وأعني أولئك الذين اكملوا مرحلة التعليم - فمن الغار أن تسألهم حل هذه المسألة . لأنهم يتصورون أنك تهزأ بهم إذا فعلت ذلك ، إذ من المفروض أن يعرفوا جمع أعداد أكبر من الواحد ، فمنهم من يعرف جمع الأرقام حتى العشرة شفوياً دون استعمال القلم والورق ، ومنهم من أوتي من الموهبة ما يجمع بينها حتى العشرين أو أكثر ، والله أعلم .



كانت السرعة النسبية بينهما كما يلي :

ف + ف = السرعة النسبية بين السيارتين .

وقلنا أيضاً أن هذه المعادلة سارية المفعول إذا كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين . أما إذا كانتا تسيران في اتجاه واحد فأننا عندئذ نطرح صغرى السرعتين من أكبرهما .

ولنعد إلى السفينتين الفضائيتين (شكل ٩) . ولنفرض أنك بنيت مرصداً فحماً فوق سطح المسارع الذي أقمته في الفصل السابق ، وأخذت تراقب السفينتين الفضائيتين ١ ، ب . كانت سرعة ١ بالنسبة لك مئة ألف ميل في الثانية وسرعة ب بالنسبة لك مئة ألف ميل في الثانية ، وكل منهما تسير في اتجاه معاكس للآخرى . هكذا سجلت لك آلات مرصداك الدقيقة جداً والتي لا يشك في قياساتها أحد . فكم ستكون السرعة النسبية بين السفينتين ؟ إننا لا نشك في معلوماتك الحسابية ولهذا نستقول :

سرعة ١ + سرعة ب = السرعة النسبية بينهما .

أي  $100,000 + 100,000 = 200,000$  ميل في الثانية .

ومعنى هذا أنك تقول إن سرعتيهما النسبية أكبر من سرعة الضوء ! فهل أنت مصمم على هذا الجواب ؟ !

إن أينشتاين لا يعجبه هذا الحساب كله ، وسيقول عنا افنا نفكر بعقل ذي ابعاد ثلاثة ، وهذا ما يعطينا النتائج المخاطئة التي وصلنا اليها ، ثم ألم يقل لنا فيما سبق - أكثر من مرة - بأن من المستحيل أن يسير جسم بسرعة الضوء ؟ فكيف بسرعة أكبر منها ؟ !

ولكنه لا يتركنا في حيرة ، انما يعطينا الحساب الصحيح الذي نحل به مشكلة جمع السرعات دون أن نتعدى سرعة الضوء بحال من الأحوال . ويقول إن السرعة النسبية بين جسمين سائرين في اتجاهين متعاكسين هي ليست حاصل جمع السرعتين كما كنا نعتقد وانما هي تتبع القانون التالي :

السرعة النسبية بين جسمين =

$$\frac{f + f}{f + f}$$

$$\frac{f \times f}{f + f}$$

حيث ف هي سرعة الجسم الأول بالنسبة لثابت ، ف سرعة الجسم الثاني بالنسبة للثابت ، س سرعة الضوء .

وبناء على ذلك ، إذا أردنا أن نحسب السرعة النسبية ما بين ١ ، ب عندما كانت تسير كل واحدة منهما بسرعة مئة ألف ميل في الثانية في اتجاه معاكس للآخرى فسنجد أن التعويض يعطينا المعادلة التالية :

$$\frac{100,000 + 100,000}{100,000 \times 100,000}$$

$$186,000 \times 186,000$$

$$186,000 \times 186,000$$

$$= 155,000 \text{ ميلاً - ثانية}$$

وهكذا .

وهذا القانون هو قانون عام شامل ينطبق على جميع السرعات في الكون مهما كانت ، وينطبق حتى على السيارتين اللتين كانتا تسيران بسرعة مئة ميل في الساعة بالنسبة للأرض . وإذا عوضنا رموز القانون في حالة هاتين السيارتين فسنجد عندئذ أن السرعة النسبية بينهما سوف لا تكون مئتي ميل في الساعة كما كنا نظن وانما سوف تقل عن هذا الرقم بمقدار جزء من مليون من البوصة (الانش) . وما صغر هذا الرقم إلا لأن السرعة النسبية بين السيارتين هي ضئيلة جداً إذا ما قيست بسرعة الضوء . ولذلك فإننا نجد أثراً ملحوظاً لهذا القانون في حياتنا العادية ، ولكن الفرق سيكون ملحوظاً كلما قاربت السرعة سرعة الضوء .

ولنفرض الآن أن كل سفينة فضائية تسير بسرعة ٠.٩ س (أي ٠.٩ سرعة الضوء) فما هي السرعة النسبية بينهما ؟



عكذك أن نعوض رموز المعادلة بنفسك وستجد أن الجواب سيكون ٠,٩٩٤٤ س أي عندما نجمع ٠,٩ مع ٠,٩ سيكون الجواب ٠,٩٩٤٤ ولنفرض فرضاً آخر ، ( وهو مستحيل طبعاً ) بأن كل سفينة كانت تسير بسرعة الضوء . فماذا ستكون السرعة النسبية بينهما ؟  
سنجد بالتعويض أن الجواب هو (س) وابطح ذلك كما يلي :

$$\frac{س + س}{\frac{س \times س}{س} + 1} = \text{السرعة النسبية}$$

$$= \frac{س}{س} = ١$$

أرأيت أنها القارئ السعيد ، أنك إذا ما أضفت سرعة جسم سائر بسرعة الضوء إلى سرعة جسم آخر سائر بالسرعة نفسها فسيكون الناتج سرعة الضوء ، أو بعبارة أخرى هل رأيت كيف يقول لنا آينشتاين ان  $1 + 1 = 1$

وهل تعلم ان علماء الفيزياء في العالم يصفقون لاينشتاين على وصوله إلى هذه النتيجة ؟ ونحن القراء المساكين مضطرون للتصفيق للرجل نفسه لوصوله إلى هذه النتيجة أيضاً ؟ ولكن إذا ما عاد المرء منا إلى بيته فسال ابنه الذي لم يدخل المدرسة بعد ، عن حاصل جمع واحد وواحد ، وأجاب ابنه بالنتيجة نفسها : صفعه على صدغه صفعة لا ترحم ! فعلمنا إذن أن لا نستعجل الامور ، وإذا ما سألنا أطفالنا أن يجمعوا واحداً إلى واحد وأجابوا بواحد ، علينا أن نفهم النباهة ونأمل الخير ، فمن يدرينا ، لعلمهم يفكرون ساعة الاجابة تفكيراً نسبياً ، ولعل واحداً منهم يأتي بنظرها أروع مما جاء به آينشتاين . فثبت لنا مثلاً أن واحداً وواحد يساويان صفراً . فلتتوكل على الله .

### اثبات القانون الثالث :

عندما تكلمنا عن أثر وجود الاثير في الفيزياء الكلاسيكية ، قلنا بأن العلماء كانوا ينتظرون أن تتغير بوثة التلسكروب الموجه إلى نجم معين كل ستة شهور ، وذلك لأن الأرض تسير في اتجاهين مختلفين كل ستة شهور ( شكل ٣ ) . ولكنهم لم يلاحظوا هذا الفرق . وبما أن وجود الاثير أمر لم يكن مشكوكاً فيه ، فقد طلع بعض العلماء بنظريات جديدة لتفسير هذه الظاهرة ، ومرت بنا اسم العلامة فرزغل الذي قال بأن الاثير ينسحب خلف الأجسام المتحركة فيه ، كما ينسحب الماء خلف السفينة . وهذا يفسر عدم تغير بوثة التلسكروب ، إذ أن انسحاب الاثير خلف عدسته ( أي عدسة التلسكروب ) بمقدار معين ، سيعوض في سرعة الضوء التي كنا ننتظر أن تتغير . وقد سمى هذا المقدار المعين عاملاً سحب فرزغل ( Fresnel Drag Coefficient ) ، وقد وضع له فرزغل المعادلة التالية :

$$1 - \frac{\text{مربع سرعة الجسم}}{\text{مربع سرعة الضوء}}$$

أو بالرموز  $1 - \frac{ف^2}{س^2}$  حيث ف هي سرعة الجسم السائر .

وقد وجد أن ادخال هذا العامل في حساباتنا سوف يعطينا سرعة ضوء ثابتة بالنسبة لعدسة التلسكروب .  
وقد كان عامل فرزغل نظرياً محضاً لا اثبات له ، وقد وضع لتفسير ظاهرة عدم تغير بوثة التلسكروب مع الريح الاثيرية وعكسها ، وقد فسّر هذه الظاهرة تفسيراً كافياً ، إلا أنه في الواقع كان رقعة في ثوب الفيزياء المهلهل . على أية حال ، فقد قام فيزو ( صاحب الاختبار الشهير لقياس



(الضوء) بتجربة لاثبات صحة عامل فرزنل ، فقام سرعة الضوء في تيار من الماء ، مرة عكس التيار ومرة مع التيار . فوجد أن عامل فرزنل صحيح كما لو كان تيار الماء يسحب الأثير وراءه .

إن عامل فرزنل يرينا أن السرعة النسبية بين جسمين متحركين في اتجاهين متعاكسين هي أقل من مجموع سرعتيهما . وإذا أردنا تطبيق عامل فرزنل على السفينتين الفضائيتين أ ، ب ( وهذا مخالف للمعقول لأن فرزنل وضع عامله بناء على وجود الأثير ) فسنجد أن :

$$\text{السرعة النسبية بين أ ، ب} = \text{ف} + \text{ف} \left( 1 - \frac{\text{ف}^2}{\text{س}^2} \right)$$

حيث ف = سرعة أ ، ف = سرعة ب ، س = سرعة الضوء

ويبدو أن هذه المعادلة تختلف عن القانون الثالث الذي ذكرناه . وبالإضافة إلى ذلك فإن تجربة فيزرو لقياس سرعة الضوء في الماء أثبتت صحة عامل فرزنل . إذن ما هو الصحيح ؟ هل نعتبر القانون الثالث من النسبية الخاصة هو المغلوط وأن قانون فرزنل القائم على اعتبار وجود الأثير هو الصحيح ؟ الواقع أن قانون فرزنل ما هو في الحقيقة إلا تقريب للقانون الثالث . فلماذا بدأنا بالقانون الثالث وأخذنا نعدل من صيغته مع بعض التقريبات البسيطة فإننا سنحصل على قانون فرزنل . وعلى ذلك فإننا نعتبر أن القانون الثالث هو الصحيح أيضاً ، ويعطي النتائج التي يقول عنها فيزرو بدقة . فيكون اختبار فيزرو في الماء ، بناء على ذلك ، اثباتاً لقانون جمع السرعات .

وبالإضافة إلى دقة القانون ، فإن له مميزات أخرى على قانون فرزنل ، منها أنه لا يفترض وجود الأثير ، ولا يشير إلى أي أثر لانسحاب الأثير وراء الأجسام المتحركة ، هذا إلى أنه جزء من نظرية شاملة تقوم بالاثباتات على صحة قوانينها المختلفة في مختلف الميادين الفيزيائية . أما عامل سحب فرزنل فقد وضع لتفسير ظاهرة معينة ، وقد وجد صدقة أنه ينطبق على

اختبار فيزرو .

وقد أعيدت تجربة فيزرو بعد ذلك مراراً ، ووجد أنها تنطبق على القانون الثالث بخصوص جمع السرعات .

وفي (الليلة التالية) (ولا نود أن نذكر رقم الليلة الآن ، لأننا لا نعرف فيما إذا كان ترتيب الأرقام الذي نعهده سيتغير ، كما تغير كل شيء في مفاهيمنا حتى الحسابية منها) قالت :

أيها القارئ السعيد ، كان محسن وحماته يسيران كل على دراجته بسرعة قريبة من سرعة الضوء في تلك البلد . وقد سبق أن قلنا لك بأن اسم ذلك البلد « بلاد الأعاجيب » ، لأن سرعة الضوء فيها عشرون ميلاً في الساعة ، ومن المفروغ منه أنها الحد الأقصى لأي سرعة مهما كانت .

وقد روينا لك قصة محسن على أنها حلم بسبب سرعة الضوء البطيئة التي فرضناها . ولكن كل ما يترتب على ذلك هو صحيح ليس إلى الشك فيه سهيل .

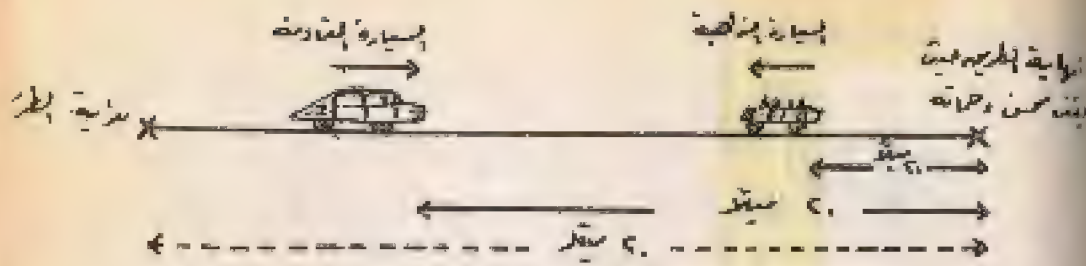
وأقبل محسن وحماته على سهل فسيح جداً فيه طريق مستقيم ممتد على طول السهل . فوقفا قليلاً يتجاذبان أطراف الأحاديث العلمية (أي أن حماة محسن أصبحت تتكلم في العلم وتناقش فيه ، وهذا سبب آخر بدعونا إلى اعتبار القصة حلاً) . وأخرج محسن آلات أرصاده الدقيقة ، وبمساعدة حماته ، قاس طول الطريق المستقيم الممتد أمامهما فوجده عشرين ميلاً بالتمام والكمال ، أي أن الضوء في تلك البلد يقطع هذا الطريق في ساعة كاملة من الزمن . ونظرا في العدسة المكبرة فرأيا سيارتين في الطريق أحدهما متجهة نحوهما ، والأخرى سائرة إلى الطرف الآخر ، وكلتاهما بسرعة سرعة عظيمة ، وفيما عدا ذلك كانت الطريق خلواً من أي شيء . فعزما على قطع الطريق والذهاب إلى الناحية الأخرى . ونظرا إلى ساعتيهما فكانت الواحدة تماماً . وركبا دراجتيهما ، ورفعت حماته يديها إلى السماء



وقالت : لا اللهم اجعلنا نقطع هذه الطريق بسرعة الضوء . . . ويظهر أن السماء كانت مفتوحة في تلك الساعة فاستجيب دعاؤها . وانطلقت بهما الدراجتان .

كانا ينتظران أن يريا الأشجار والمباني القائمة على جنبات الطريق وقد تقلصت وانكمشت كمهدهما بها أثناء السير السريع . ولكنهما أصبحا لا يريان شيئاً ، حتى الطريق التي يسيران عليها أصبحا لا يريانها . وقد حسبا أول الأمر أن عيى أصاب عيونهما . لكنهما عندما نظرا إلى الدراجتين وجدا أن بصرهما سليم ، ونظرا إلى بعضهما البعض فوجدا أن كل شيء طبيعي . وأدرك محسن وحماة أن سبب ذلك هو أن القانون الأول من النسبية الخاصة يدلنا على أن السائر بسرعة الضوء يكون طوله صغراً بالنسبة لثابت . ولهذا فهما لا يريان الأشخاص الواقفين على جانبي الطريق ، ولا يريان شيئاً إطلاقاً ، لأن طول كل هذه الأشياء بالنسبة للآخر صغر . وقد أدهشهما أنهما لم يريا السائرتين السائرتين على الطريق سواء تلك السائرة في اتجاههما أو الأخرى السائرة عكس الاتجاه .

وأدهشهما أيضاً أنهما لم يكادا يغطيان الدراجتين حتى وصلا إلى نهاية الطريق . وعندئذ وقفت بهما الدراجتان تلقائياً لأن الدعاء الذي توجهت به الحماة إلى السماء هو أن يقطعا هذه الطريق لا أكثر . وما كادا يقفان حتى نظر كل منهما إلى ساعته ، وأمسكا بآلات الرصد بقياسان بُعد السائرتين السائرتين في الطريق ، وكانتا قد ابتعدتا عن بعضهما شوطاً طويلاً لأنهما تسيران في اتجاهين مختلفين . وقد أصاب محسن الدهول الشديد عندما وجد أن بعد السيارة القادمة إليه في الطريق نفسها هي عشرون ميلاً ، وبعد السيارة الأخرى المتباعدة عنه في الطريق نفسها والتي أصبحت تفصلها مسافة طويلة جداً عن السيارة الأخرى القادمة إليه ، عشرون ميلاً أيضاً !! ووجد أن طول الطريق عشرون ميلاً كما كانت !!



شكل (١٥)

الطريق في بلاد العجائب

وعندما أخذتا يتناقشان في النتائج الجديدة الغريبة ، كانت حماة محسن ترى أن هذه النتائج طبيعية عادية ليس فيها شيء مستغرب . وقد علل محسن موقف حماته بأحد سببين : إما أنها تكون قد استوعبت مفاهيم النظرية النسبية استيعاباً عميقاً ، فأصبحت تتوقع النتائج التي تراها فلا تجد فيها عجباً ، أو أن منطقها في حياتها الطويلة كان دائماً متناقضاً كهذا التناقض فأصبحت معتادة عليه . أما محسن فقد وقع في حيرة عميقة وذهول شديد تمتد أثناءهما الخروج من بلاد العجائب . وقبل أن تساورك في حقيقة الأمر الظنون ، تمسك عن الحديث ذي الشجون .



الطاقة والصكتة

## القانون الرابع

### الطاقة والصكتة

رحم الله الأثير وطيب ثراه . فقد قضى حياته وهو يحمل الفيزياء الكلاسيكية على كتفيه مخافة أن تقع وتنحطم ، وكان يحمل لها المشاكل ، ويسر لها الأمور ، ويقبها من عثرات الزمان . وأمضى عمره الفيزيائي في أفعال الخير والتقوى حتى قضت عليه النظرية النسبية ، وحملت له في طبائها الأجل المحتوم .

فالأجرام الفلكية تسبح في الأثير ، والأمواج الضوئية هي ذبذبات في الأثير ، والأثير المغناطيسي والكهربائي ، والحاذية ما بين الأفلاك كلها من الأثير وفي الأثير وبالأثير وعلى الأثير وبواسطة الأثير . ولقد وصل الأثير في القرن الماضي مبلغاً من الأهمية بحيث أصبح عند الفيزيائيين وكأنه خاتم سليمان ، تعرضهم المشاكل فيطلبون الأثير وعنده الحل اليقين . وجاءت النظرية النسبية ، فلم ترحم شبابه ، وأجهزت عليه وجعلته يلفظ النفس الأخير .

وبما أن هذه النظرية النسبية هي نظرية شاملة متكاملة ، إذن فلنضمر لنا كيفية انتقال الأثير الكهرومغناطيسي ( أي الظواهر الكهرومغناطيسية ) ،

والضوء ظاهرة منها .

إذا لم يكن هنالك أثير ، أو على الأقل ، إذا لم يكن هنالك أثر له ، فكيف ينتقل الينا الضوء خلال المسافات السحيقة في الفضاء ؟ وما الذي يجذب قطبي المغناطيس المختلفين ؟ وما الذي يدفعهما عن بعضهما البعض إذا كانا متشابهين ؟ وما الذي ينقل الينا موجات الراديو والتلفزيون ؟

إن استبعاد عالم الأثير يحتاج إلى إدخال مفهوم جديد يفسر الظواهر الكهرومغناطيسية كلها وينسجم مع النظرية النسبية . وهذا المفهوم الجديد يسمى بالمجال الكهرومغناطيسي . وبدلاً من أن نعتبر أن الظواهر الكهرومغناطيسية هي تغيرات في الأثير أصبحنا الآن نعتبر أن هذه الظواهر هي حقائق مادية لها من واقع الوجود المادي ما لأي جسم مادي آخر .

وقد يكون القارئ استوعب هذا الكلام ، ولكن الكاتب لم يستوعبه بعد فلنشرح له قليلاً . تقول النظرية النسبية بأن الظواهر المارة ذكرها ( والضوء منها طبعاً ) هي ليست مجرد ظواهر وإنما هي أشياء مادية . أي أن الضوء مادة تخرج من مصدرها وتسير في الفضاء حتى تقع في عين القارئ السعيد . وبعبارة أخرى تقول النظرية النسبية بأن للضوء ( والظواهر الكهرومغناطيسية الأخرى ) كتلة . ولا تكفي بذلك بل تقول بأن لكل طاقة كتلة مهما كانت هذه الطاقة .

ومعنى هذا أن قضيب الحديد وهو ممغنطس أثقل منه عندما يفقد قوته المغناطيسية ، لأنه في الحالة الأولى يكون محاطاً بالمجال المغناطيسي وهذا له كتلته . ومعنى ذلك أيضاً أن المصباح ذا البطارية الحافة الذي تحمله في يدك في الليل إذا ما سرت في الظلام يفقد من وزنه شيئاً فشيئاً وأنت تضيقه ، بسبب كتل الضوء التي تخرج منه .

يريد الأستاذ آينشتاين أن يقول إن للضوء وزناً .







بأن مقدار الضوء الذي يصدر منها  $4 \times 10^{11}$  طناً فقط . وسنفرض بأن هذه الأطنان كلها ضوء خالية من الحرارة المحرقة ، ونرى أن الشاعر مع هذا كله يجد أنها تبعث ظلاً بقي حضرته من وطأة حر شمسنا ١١ سوف لا نتساءل عن كتلة الجيب الذي يصدر اربعائة ألف مليون طن من الضوء ، ففي هذا احراج لنا واحراج للشاعر .

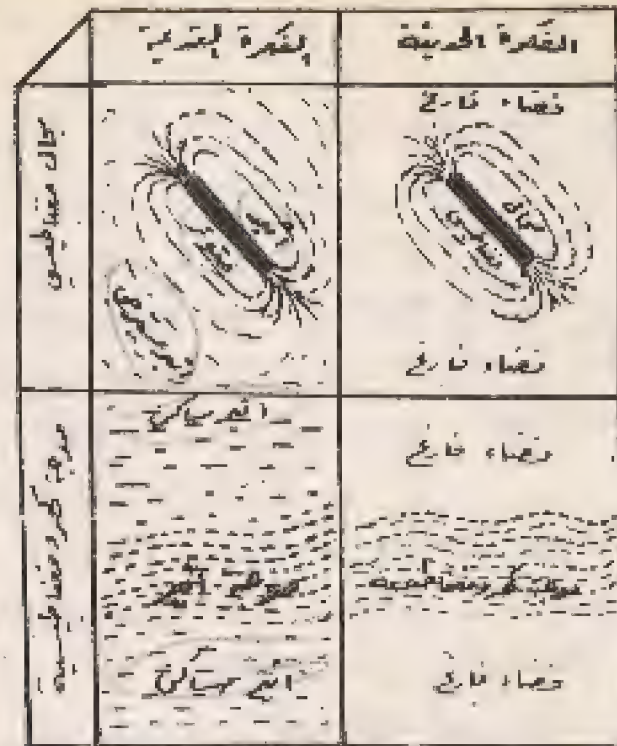
ولنتصور الآن أن كتلة الضوء هذه - بصرف النظر عن الحرارة - قد انقبت على شاعرنا مرة واحدة ، فقل لي ماذا يحدث لعظامه عندئذ ؟ ولكنه مع ذلك كله يجد تحت هذه الكتلة ظلاً ظليلاً ١١ وهكذا الشعراء .

لكن مالنا وللشعر ؟ ولنرجع إلى العلم تمشياً مع الحكمة القائلة : العلم نور . وإذا كان النور يعني الضوء ، فيجب أن يكون له ثقل أيضاً .

على أية حال ، فإننا بناءً على ذلك ، يجب أن نعلم بأن موجات الضوء هي غير موجات الماء أو موجات الصوت ، وتختلف عنها اختلافاً جذرياً . فموجات الماء هي ارتفاعات وانخفاضات متناسقة في ترتيب جزيئات الماء ، أي أن الجزيء يكون مرة في أعلى الموجة ثم ينحدر إلى أسفلها ويصعد إلى أعلى الموجة الأخرى ، وهكذا . فهو يرتفع وينخفض في موضع محدد ولا يتحرك بنفسه غير هذه الحركة . والشئ نفسه يقال عن موجات الصوت . أما موجات الضوء فشئ ينتقل من مكان إلى آخر ، وهو بذلك كالافعى التي تسير في موجات فيندفع جسمها كله إلى الأمام .

وإذا كان الضوء كذلك كان معنى هذا أن لا لزوم بعد الآن لافتراض وجود الأثير كناقل لموجاته .

وأود أن ألفت انتباه القارئ للمرة الثانية إلى أنني حين أتحدث عن كتلة



ننظر من جوارح جاسر

شكل (١٦)

المجال المغناطيسي والموجة الكهرومغناطيسية  
قبل آينشتاين وبعده

الضوء في هذا المجال إنما اتخذته مثلاً فقط ، لأن الكلام نفسه ينطبق على جميع الظواهر الكهرومغناطيسية . والشكل (١٦) يوضح الفكرة الحديثة التي نشأت عن المجال المغناطيسي والموجات الكهرومغناطيسية بعد ظهور النظرية النسبية واستبعاد الأثير .

وأرى الآن أن أعود إلى القانون نفسه قليلاً ، فلا يزال حوله بعض الحديث .

إذا كانت الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء ،



كان معنى ذلك أن جزءاً ضئيلاً من المادة سوف يزودنا بطاقة هائلة جداً .

وإذا شاء القارئ أن يتأكد من ذلك فليعوض في المعادلة ليجد مقدار الطاقة التي يمكن أن يزودنا بها رطل إنكليزي واحد من الفحم ، وسرى بنفسه عندئذ أن مقدار هذه الطاقة هو ٣٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ قدم-رطل . وهذا يعادل مجموع الطاقة التي تولدها محطات القوى الكهربائية في الولايات المتحدة لمدة شهرين ! وبناء على ذلك فإن ملء ملعقة صغيرة من الفحم فيه من الطاقة ما يزود أكبر عابرات المحيط لشطع المحيط الأطلسي ذهاباً وإياباً عدة مرات !

وسوف يصام القارئ الآن ، ولكننا نحرق في الشتاء اوطالاً عديدة من الفحم والخطب فلا تكاد تكون كافية لتدفئة المنزل ، الا تطلق طاقة عند احتراقها ؟ ولماذا لا نشترى الفحم والخطب من دكان الصائغ بالدرهم ، وسيكفي الدرهم عندئذ لتدفئة مدينة كاملة طيلة فصل الشتاء ؟

أجل أيها القارئ ، إن احتراق الفحم يزودنا بطاقة ، ولكن عملية الاحتراق هي عملية كيميائية تغير في ترتيب الجزيئات ولا تفقدنا شيئاً منها . والذي يحصل في عملية الاحتراق هو اتحاد الأكسجين بالفحم وينتج من هذا الاتحاد انطلاق طاقة على شكل حرارة . لكننا في الواقع لم نفقد شيئاً من كتلة أحدهما : لا من كتلة الفحم ولا من كتلة الأكسجين ، ولو جرت عملية الاحتراق في إناء مقفل موضوع على ميزان فائنا لن نلاحظ تغيراً في وزن الإناء قبل الاحتراق وبعده . وعلى ذلك ، فليس هناك مجال في هذه العملية لتطبيق القانون الذي يتحدث عن تغير الكتلة إلى طاقة وبالعكس . أما العمليات التي يطبق فيها القانون فتسمى « التفاعلات النووية » .

والتفاعلات النووية تتحول فيها الكتلة (أو جزء منها) إلى طاقة ، ونجد عندئذ أنها تعطينا ثلاثة آلاف مليون مرة من الطاقة قدر ما تعطينا

عملية الاحتراق . ولكن التفاعلات النووية تختلف اختلافاً جذرياً عن الاحتراق والتفاعلات الكيميائية الأخرى .

وعليك أن تعرف : إذن ، أن حركة لسان حماسة محسن التي كانت ترعجه أما ازعاج هي ناتجة عن عملية احتراق بسيطة ، يتحد فيها جزء قليل جداً من سكر الدم مع الأكسجين وتعطي طاقة تحرك فيها عضلة اللسان الذي قامى منه محسن الأمرين . وقد كان محسن يظن قبل أن يقرأ النظرية النسبية أن هذه الطاقة هائلة جداً ولكنه تبين فيما بعد أنها ضئيلة إذا ما قيسست بالتفاعلات النووية . أما إذا اكتشفت في المستقبل طرق تسير فيها ألسنة الحموات على الطاقة النووية فللأزواج الويل والثبور .

## اثباتات القانون الرابع حول الكتلة والطاقة :

### تجربة كوكروفت ووالتن Cockcroft and Walton

نظراً لكمية الطاقة الضخمة التي ينتظر أن يطلقها جزء ضئيل من المادة ، كان العلماء يشكون في إمكانية إثبات هذا القانون ، ويعتبرونه نظرياً محضاً لا يكاد يكون هناك مجال لوضعه موضع التجربة . حتى كان اكتشاف بور Bohr لكيفية التركيب الذري سنة ١٩١٣ والتعديلات التي تلت ذلك بحيث أصبح لدينا فكرة كاملة عن تركيب الذرة سنة ١٩٢٠ ، وهو التركيب الذي نعرفها عليه الآن ، فركز العلماء جهدهم في تطبيق القانون على نطاق الذرة ، وخاصة النواة .

ومن المعروف الآن أن نواة الذرة تتكون من بروتونات وليبترونات ، ولكل واحد من هؤلاء كتلة تبلغ ١.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠ غراماً . والبروتون يحمل شحنة كهربائية موجبة ، أما النيوترون فلا يحمل أي شحنة ما . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن ثقل العناصر يعتمد على عدد



البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة . فكلما زاد العدد كان الغنصر أثقل ، والعكس بالعكس . فالهيدروجين مثلاً ، وهو أخف العناصر ، تتكون نواته من بروتون واحد فقط ، بينما تتكون نواة اليورانيوم (وهو من أثقل العناصر) من ٩٢ بروتون و ١٤٦ نيوترون .

وكانت أهم مميزة لفتت انتباه العلماء هي قوة ارتباط البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض داخل نواة الذرة . فمن المعروف أن البروتونات تحمل شحنات كهربائية موجبة ، ومن المفروض بناء على ذلك أن تتنافر وتتبعد عن بعضها البعض . لكن ثبات النواة يدلنا على أن قوة الترابط هي أكبر كثيراً من قوة تنافر الشحنات الكهربائية الموجودة في بروتوناتها بحيث لا يعود لهذه الأخيرة أي أثر . ويسمى الفيزيائيون قوة الترابط هذه « طاقة الترابط » . وعلى ذلك ، فإذا أمكن تحطيم النواة بشكل من الأشكال فلنأخذ نتظر انطلاق « طاقة الترابط » المذكورة .

وطاقة الترابط التي تنطلق من تحطيم النواة لا يمكن أن تكون قد أتت من لا شيء . فمن القوانين الفيزيائية قانون لا يأتيه الباطل من بين يديه ولا من خلفه وهو قانون « حفظ الطاقة » ، وينص على أن الطاقة لا يمكن أن تأتي من العدم ولا يمكن أن تباد ، وإنما تتحول من شكل إلى آخر . فمن أين إذن تأتي طاقة الترابط ؟ ومن ذا الذي يزودنا بها ؟ أننا نجد جواباً على هذا السؤال في القانون الرابع من النظرية النسبية وهو طبقاً لـ ٢ ، الذي يجب تفسيره بحيث أن طاقة الترابط المنطلقة من الذرة المحطمة تأتي من كتلة النواة .

وإذا كان لنواة ما ، كتلة معينة قبل التحطيم ، ثم حدثت عملية التحطيم وانطلقت طاقة أثناءها ، فإن مجموع كتل الأجزاء الناتجة عن التحطيم سيكون أقل من وزن النواة الأصلية ، وسيكون الفرق ما بين الجهتين هو ما تحول إلى طاقة . أما إذا كان مجموع كتل الأجزاء الناتجة عن التحطيم مساوياً لكتلة النواة الأصلية ، كان معنى ذلك أن الطاقة

المتولدة قد حدثت من لا شيء ، وهذا خرق لقانون حفظ الطاقة . وعلينا أن نعرف بكل تأكيد أن التفاعلات النووية التي يقوم بها العلماء اليوم لا تستهلك كل كتلة النواة في توليد الطاقة ، إنما تستهلك ذلك الجزء الضئيل جداً المعروف بطاقة الترابط النووية .

ولاثبات صحة ذلك ، أصبح من الضروري إجراء تجارب تقيس فيها كتلة نواة معينة ، ثم نحطمها ونقيس كتلة الأجزاء التي نتجت عن التحطيم ونقيس مقدار الطاقة التي انطلقت من هذه العملية ، ونقارن لنجد ما إذا كان هناك تكافؤ ما بين الطاقة المتولدة والكتلة المفقودة .

كان كوكروفت ووالتن أول من نجح في إجراء اختبار كهذا بدقة بنهاية ، وكان ذلك في إنكلترا سنة ١٩٣٢ . فقد قذفوا نواة الليثيوم بروتون ، وحدث من جراء هذا الاصطدام أن انقسمت النواة إلى جزئين وانطلقت كمية من الطاقة . وعندما قيست كتلة الجزئين وقورنت بكتلة نواة الليثيوم الأصلية وجد أن مجموع كتلتيهما أقل من كتلة نواة الليثيوم . وقام كوكروفت ووالتن كمية الطاقة المنطلقة ، فوجدوا أنها تكافئ ما فقد من الكتلة حسب القانون الرابع من النظرية النسبية الخاصة . وعلى ذلك ، يكون قد ظهر أول برهان لتكافؤ الكتلة والطاقة بعد ظهور النظرية النسبية الخاصة بثانية وعشرين عاماً .

### القنابل الذرية والهيدروجينية :

وبعد تجربة كوكروفت ووالتن أجريت تجارب عديدة أخرى أكدت تكافؤ الطاقة والكتلة . وتجمعت هذه التجارب لتظهر على العالم بنتائج اهتزت لها البشرية . أولاها في مكسيكو الجديدة في ١٦ تموز سنة ١٩٤٥ عندما فجرت القنبلة الذرية للمرة الأولى . أما الثانية ففي جرلزكر مارشال في المحيط الهادي في تشرين الثاني ١٩٥٢ عندما فجرت القنبلة الهيدروجينية



للمرة الأولى . وهذان النوعان من القنابل يعتمدان في الأساس على قانون تكافؤ الكتلة والطاقة من النظرية النسبية ، ولكن هناك اختلاف رئيسي بينهما .

فقد شرحنا حتى الآن أن العلماء قد وجدوا بأن العناصر الثقيلة إذا تحطمت فإنها تعطي اجزاء تكون في كتلتها أقل من كتلة النواة الأصلية ، وهذا ما أثبتته اختبار كوكروفت والوتن . لكن العلماء قد وجدوا العكس في العناصر الخفيفة . فإذا تحطمت نواة عنصر خفيف كانت كتلة الاجزاء الناتجة أكبر من كتلة النواة الأصلية . ومعنى هذا أنها تستهلك طاقة لتحطيمها بدلاً من أن تعطي طاقة . وهذا قامت فكرة القنبلة الهيدروجينية على أساس معاكس تماماً لفكرة القنبلة الذرية . فصانعوها يقومون بتكوين نواة من اجزاء صغيرة جاهزة لهذا الغرض . ولما كان مجموع كتل هذه الاجزاء الصغيرة أكبر من كتلة النواة ، فإنها عندما تتحد تطلق كمية هائلة من الطاقة هي الفرق ما بين الكتلتين .

وعلى ذلك ، فإن القنبلة الذرية قائمة على أساس تحطيم الذرة ، أما القنبلة الهيدروجينية فهي قائمة على أساس تجميع الاجزاء لتكوين ذرة . ولكن الحساب في الحالتين قائم على أساس قانون تكافؤ الكتلة والطاقة من النظرية النسبية .

### الطاقة في الشمس والنجوم :

هناك مثل مذهش آخر حول تحويل الكتلة إلى طاقة ، وهو ما يحدث في الشمس وفي النجوم الأخرى . فالطاقة التي تزودنا بها الشمس كانت لغزاً من الألغاز يحير العلماء منذ قرون . وكان العلماء القدماء يعتقدون بأن الشمس مكونة من فحم أو مادة أخرى قابلة للاحتراق كالقحم . وهذه المادة تحترق بالطرق العادية التي يحترق فيها القحم على سطح الأرض

لكن تبين للعلماء فيما بعد أن هذا شيء مستحيل . فلو كانت الشمس كذلك لاحتترقت احتراقاً كاملاً في قرنين أو ثلاثة قرون من الزمن ، لأننا نعرف كتلتها ونستطيع أن نقدر الوقت الذي يستغرقه احتراق هذه الكتلة من القحم . ولكن الشمس كانت ولا تزال تعطينا هذه الطاقة منذ آلاف الملايين من السنين .

وقد بقيت طاقة الشمس لغزاً من الألغاز حتى اكتشفت التفاعلات النووية ، وعرف العلماء قانون أينشتاين في النسبية الخاصة حول تحول الكتلة إلى طاقة . ففي عام ١٩٣٨ قام عالمان ، كل على حدة ، بوضع معادلة التفاعلات النووية التي تجري في الشمس وتعطينا هذه الطاقة الضخمة . وهذان العالمان هما بيث **Bethe** ووايزكر **Weizsacker** . وقد وجدوا أن هناك سلسلة من التفاعلات النووية تحدث داخل الشمس تتضمن فيها أربعة نويات هيدروجين ( اربع بروتونات ) لتكوين نواة هيليوم ( بروتونان ونيوترونان ) ، وبما أن كتلة نواة الهيليوم أصغر من كتلة أربعة نويات هيدروجين بمقدار  $0.007$  ، فإن الكتلة المفقودة تتحول إلى طاقة .

وقد حسب بيث ووايزكر انطلاق الطاقة من كتلة الشمس كليهما ، معتمدين على القانون الرابع من النظرية النسبية ، وقارنا ذلك بما يصل إلينا من إشعاع الشمس ، فوجدوا تطابقاً تاماً بين حساباتهما النظرية والقياسات العملية ، وعلى ذلك فقد كانت عمليتهما هذه اثباتاً آخر "لقانون

وبما أن الطاقة التي تطلقها الشمس هي على حساب كتلتها ، كان معنى ذلك أنها تحرق نفسها في سبيل إعطائنا النور والحياة أيها القارئ . وهي فعلاً شمعة تحترق فتأكل نفسها في سبيل الآخرين . وإذا كان استهلاكها للهيدروجين سائراً على المعدل الذي يسير عليه الآن فلنأكلها سوف تستهلك جزءاً في المئة من كتلتها كل ألف مليون سنة . وبالنظر إلى عوامل



أخرى فإن العلماء يقدرون بقاءها حتى عشرين بل يون أو ثلاثين بل يون سنة قادمة .

ولا أظن بنا حاجة إلى القول أن عمليات كهذه تجري في بقية النجوم . وعلى ذلك فإن النجوم أيضاً تأكل نفسها ، وسوف تنطفئ آخر الأمر ، ويعتمد عمرها على حجمها للمختلقة وعلى نوع العملية النووية الجارية فيها .

ويمكن أن نقارن التفاعلات النووية الجارية في النجوم بالعملية التي تجري أثناء انفجار القنبلة الهيدروجينية . وسيكون الخلاف فقط في مدى الزمن الذي تستغرقه العملية في كل منهما . فالعملية تجري في النجوم ببطء شديد جداً يستغرق بلايين السنين ، بينما تجري في القنبلة الهيدروجينية في حوالي جزء من مليون جزء من الثانية .

### العصر الذري :

مع أن أول تطبيق عملي لتكافؤ الكتلة والطاقة كان في القنبلة الذرية وكان له وقع سيء في جميع النفوس في العالم كله ، إلا أنه في الواقع كان بداية العصر الذري الذي نعيش فيه الآن . فمنذ ذلك الحين توجهت أنظار العلماء ومجهوداتهم إلى استغلال الطاقة الذرية في الأغراض السلمية ، مما كان وسيكون له نتائج بعيدة الأثر في حضارة الأمم . ومعظم التفاعلات الذرية التي طبقت والتي تجري عليها البحث الآن ، تتعلق بتحطيم الذرة ، إنما على نطاق أقل مما يجري في القنبلة الذرية . ومن تفاعلات كهذه تتولد طاقة تحول الآن إلى طاقة حرارية أو كهربائية أو ميكانيكية . وبالإضافة إلى ذلك فقد أخذ العلماء يولدون النظائر المشعة في المسارعات الذرية المختلفة ، ولهنه فوائد لها الواسعة في الطب والزراعة والصناعة .

إن العصر الذري في بدايته ، ولا يستطيع الإنسان أن يتصور الفوائد التي يمكن أن نجنيها من الطاقة الذرية . وكل هذا بفضل معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة المستمدة من النظرية النسبية الخاصة .



كل منهما تشير إلى الثانية عشرة تماماً . ثم أخذنا تسيران بسرعة نسبية مقدارها « ف » .

فإذا أراد « أ » أن يرى الوقت عند « ب » ، فسوف يندهش عندما يرى أن ساعة « ب » السحرية أخذت تسير ببطء وأصبح معدل سير الزمن فيها يتفق مع المعادلة الخامسة من قوانين النسبية الخاصة .

وإذا فرضنا أن السرعة النسبية بين « أ » ، « ب » هي ٩٣٠٠٠ ميلاً ثانية ، فسوف نجد أن زمن « ب » يسير بسرعة ٠٫٩ ما يسير به زمن « أ » ، فإذا كانت ساعة « أ » تشير إلى الواحدة فإن ساعة « ب » ستكون ١٢:٥٤ أي أقل من « أ » بستة دقائق . وفي أي وقت ينظر فيه « أ » إلى ساعة « ب » سيجد أنها تسير تسعة أعشار ما تسير به ساعته .

وإذا كانت سرعتهم النسبية ١٦١٠٠٠ ميلاً ثانية ، فسوف تبين لنا المعادلة أن زمن « ب » يسير نصف ما يسير به زمن « أ » . أي إذا كانا قد سارا ساعة من الزمن بهذه السرعة ، فسيجد « أ » أن ساعته قد بلغت الواحدة عندما تكون ساعة « ب » تشير إلى الثانية عشرة والنصف . وكلما زادت السرعة النسبية بينهما كلما تباطأت ساعة « ب » . وسوف لا يهتما إذا كانت سرعتهم النسبية ناتجة عن اقترابهما أو ابتعادهما عن بعضهما البعض .

كل هذا حتى الآن معقول لأنه يسير حسب المنطق الذي تعودناه الآن في القوانين السابقة . ولو شئنا أن نتصوره لاستطعنا على الأقل أن نتصور شيئاً منه . وسيكون مقبولاً لدينا ما دمنا قد قبلنا الفرضين اللذين تقوم عليهما النسبية الخاصة .

لكن دعنا الآن ننظر إلى ما يلي :

دع « ب » يسجل زمن « أ » . إنه سيجده متباطئاً حسب المعادلة نفسها . فإذا كانت السرعة النسبية بينهما ٩٣٠٠٠ ميلاً ثانية ، فسيجد

## القانون الخامس

### الزمن في النسبية

بهذا العنوان نفسه تكلمنا فصلاً كاملاً في أوائل الكتاب عن الزمان في النسبية . وأظن أن في ذلك الفصل معلومات تمهيدية كافية تبين لي أن أدخل في القانون رأساً دون أية مقدمات .

يرى أينشتاين أن الزمن يتباطأ بحسب السرعة بنفس العامل الذي ينكمش فيه الطول بحسب السرعة . ويعطينا المعادلة التالية :

$$\text{زمن} = \text{زمن} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

حيث « ز » ترمز للزمن الجديد ، و « ز » ترمز للزمن عندما كانت السرعة صفراً بالنسبة للمشاهد ، و « ف » السرعة النسبية بينهما ، و « س » سرعة الضوء .

ولننظر الآن إلى السفينتين الفضائيتين التقليديتين أ ، ب اللتين انطلقنا في الفضاء ( شكل ٩ ) . ولنفرض أننا عندما أطلقناهما كانت عقارب ساعة



أن زمن ١٥ س يسير بمعدل ٠.٩ زمنه ، وإذا كانت السرعة النسبية ١٦١٠٠٠ ميلاً ثانية فسيجد أن زمن ١٥ س يسير بنصف المعدل الذي يسير به زمنه . وهكذا !!!

أي أنها إذا افرقا عن بعضهما البعض الساعة الثانية عشرة تماماً ، وكانت السرعة النسبية بينهما ١٦١٠٠٠ ميلاً ثانية (أي ٠.٩ س) فبعد ساعة من الزمن بحسب تقدير « ١ » ستكون ساعة « ب » الثانية عشرة والنصف ، وبعد ساعة من الزمن بحسب تقدير « ب » ستكون ساعة « ١ » الثانية عشرة والنصف !!!

ولو كان « ١ » ، « ب » من غير مرتبة العلماء ، وكانا لا يعرفان النظرية النسبية كما نعرفها الآن أنا وأنت ، واستطاعا - بشكل من الأشكال - أن يتحادثا وهما سائران بهذه السرعة الخارقة فسوف يضحك كل واحد منهما من الآخر لأن ساعة الآخر تسير نصف سير ساعته ، وسيقول « ١ » إن ساعته الواحدة وساعة « ب » الثانية عشرة والنصف ، وسيقول « ب » إن ساعته الواحدة وساعة « ١ » الثانية عشرة والنصف . وإذا تراءى على ذلك وجعلاك بينهما حكماً وأردت أن تظهر بمظهر العالم الذي يعرف أسرار الفيزياء وخفايا الكون وعجائب الطبيعة ، فسوف تلتفت إلى « ١ » وتقول له : « أنت على حق ، وساعتك صحيحة » ، ثم تلتفت إلى « ب » وتقول له : « أنت على حق ، وساعتك صحيحة » . أما ماذا يترتب على حكمك ، ومدى ثقة الرجلين بعقلك واتزان تفكيرك فهذا لست مسؤولاً عنه ، إنما المسؤول هو أينشتاين الذي وضع هذا القانون .

ويمكننا أن نضع القانون بالكلمات التالية : إذا تحرك مشاهدان بسرعة ثابتة بالنسبة لبعضهما البعض فسوف يبدو لكل منهما أن زمن الآخر قد تباطأ بالنسبة التي تحددها المعادلة :

إن هذا القانون هو الذي جعل العلماء يغيثون وجهة نظرهم في « الزمان » وينظرون إليه نظرة تختلف اختلافاً كلياً عما كانت تنظر بها

إليه الفيزياء الكلاسيكية . فقد كان الزمن منذ القدم يُعتبر أنه يسير بمعدل واحد بالنسبة لكل شيء أوكل إنسان في هذا الكون . فهو كالنهر الكبير العريض الذي يجري تياره في كل بقعة منه بالمعدل نفسه ، ولا تجري منه قطرة بأسرع مما تجري به أية قطرة أخرى .

لكن النظرية النسبية ترى رأياً يختلف عن هذا اختلافاً كلياً ، فهي التشبيه نفسه ترى أن الزمن كنهر عريض يختلف جريان كل بقعة فيه عن البقعة الأخرى ، وذلك حسب السرعة النسبية للمشاهد .

### الاثبات بتباطؤ الزمن مع السرعة :

إن تباطؤ الزمن مع السرعة لا يكون ملحوظاً في حياتنا اطلاقاً ويمكن اهماله ( كإهمال بقية قوانين أينشتاين في الحياة العادية ) ولا يمكن قياسه لصغره المتناهي . ولكي نستطيع اكتشاف أي فرق ملموس يجب أن نجد نظاماً ما يتحرك بسرعة عظيمة جداً .

وأول من اهتمدى لذلك هو العالم أيفز Ives سنة ١٩٣٦ ، فقد استطاع أن يسارع ذرات الهيدروجين داخل أنبوب زجاجي بواسطة مجال كهربائي إلى أن وصلت سرعة الذرات ١١٠٠ ميلاً ثانية أي ٠.٠٠٦ من سرعة الضوء ، ومع أن هذه السرعة لا تزال ضئيلة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، إلا أنها كافية للكشف عن الأثر المطلوب إذا كان له وجود .

وسأله تعليق ساعة في ذرة الهيدروجين لقيس بها الزمن ليست من الصعوبة بمكان كما قد تخيل للقارئ . فهناك ساعة طبيعية موجودة داخل الذرة ألا وهي الإلكترون المتذبذب ( ويجب أن نلاحظ هنا أن الذبذبة ليست موجودة في بعض البشر وحسب ، بل هي موجودة حتى في الإلكترونات ) . ويستطيع العالم بواسطة المحلل الطيفي أن يقيس ذبذبة



الالكترون في ذرة الهيدروجين في الحالتين : حالة السكون وحالة الحركة السريعة . وقد وجد أيفز أن ذبذبة الالكترون تطول مدتها أثناء الحركة السريعة بما ينطبق تماماً على المعادلة الخامسة من النظرية النسبية . وبهذه التجربة ثبت تغير الزمن مع السرعة .

وفي ( الليلة التالية ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، بعد أن قطع محسن وحمامته الطريق بسرعة الضوء ووقفاً فجأة ، نظرا إلى ساعتيهما وقاسا بعد السيارة الذاهبة فكان عشرين ميلاً وبعد السيارة القادمة فكان عشرين ميلاً أيضاً ، وطول الطريق فكان عشرين ميلاً 11 مع أن محسن استغرب من ذلك مؤقتاً إلى أن استعاد معلوماته في قوانين النظرية النسبية ، إلا أنه عاد للاستغراب مرة أخرى عندما وجد أن ساعته تشير إلى الواحدة وساعة حمامته تشير إلى الواحدة أيضاً ، وهي نفس القراءة التي قرأها قبل أن يقطعا الطريق بسرعة الضوء . ولقد ظن في بادئ الأمر أن خطأ أصاب ساعته وساعة حمامته ، ولكنه نظر إليهما فوجدتهما تعملان بدقة وانتظام ، فاحتار كيف قضى ساعة من الزمن في قطع الطريق دون أن تتحرك ساعتاهما . ولكن حمامته أدركت حيرته ، ونظرت إليه نظرة شذراء وقالت : « أراك يا محسن قد نسيت المعادلة التي تخبرك عن تباطؤ الزمن مع السرعة ، إليك ورقة وقلماً لكي تعوض رموزها وتجد الزمن الذي صرفناه في قطع الطريق ، واعطته الورقة والقلم . وفعل ما أمرته حمامته ، فوجد أن الزمن الذي قضياه في قطع الطريق كان صفراً فالساعتان إذن سليمتان ، لكن لم يكن يمر بهما زمن وهما سائرتان بهذه السرعة ولهذا كانتا واقفتين .

ولما فهم محسن ذلك ، زالت عنه الدهشة ، فتمسك عن هذه الأحاديث الهشة .

وفي ( الليلة التي تلتها ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، كان لما رآه محسن في المنام أثر كبير على

نفسه ، أعاد إليها حب الدراسة والعلم ، ذلك الحب الذي قضت عليه مشاغل الحياة ومصائب الأيام . فصحا <sup>عن</sup> منامه نشيطاً ملؤه الرغبة في متابعة القراءة حول هذا الموضوع ، وتناول قهوته وهو غارق في التفكير ، وخطر بباله أن يلقي تحية الصباح على حمامته ، فخرج إلى الصالة ، فوجدتها جالسة تشرب قهوتهما فردت عليه تحيته بأحسن منها وهي تبسم ، وأخذتا يتجادبان أطراف الحديث . وشدا ما هاله أن علم أن حمامته قد حلت الحلم نفسه ، وأنها كانت ترافقه في بلاد العجائب وأخذت تذكره بالبلاد التي كانت سرعة الضوء فيها عشرين ميلاً في الساعة ! لم يصدق محسن ذلك أول الأمر وأخذ يفرك عينيه ليتأكد من يقظته ، فلم يجد حواسه شيئاً يدعو إلى اعتبار الأمر حلاً ، فسلم أمره لله . وأشد ما أدهشه وبعث في نفسه الغرابة أن حمامته قد فهمت تفاصيل النظرية النسبية من الحلم فقط ، بحيث أصبحت تناقشه فيها مناقشة الخبير الضليع وتدلّه على مواضع أخطائه إذا أخطأ .

تذكر عندئذ عندما كانا يقفان في السهل في بلاد العجائب ، وعندما دعت حمامته أن يقطعا الطريق ذات العشرين ميلاً بسرعة الضوء ، أنه رفع يديه إلى السماء في تلك اللحظة وقال « اللهم اهدِ حماتي » ، كانت السماء مفتوحة فاستجيب دعاؤها ، واستجيب دعاؤه . ولم يقف الأمر عند هذا الحد ، بل قالت له إنها قد جمعت مبلغاً كبيراً جداً من المال ، سوف تنفقه في رحلات إلى الفضاء تقوم بها بنفسها ، وإذا أحب أن يرافقها فعلى الرحب والسعة .

وبينما هما يتجادبان أطراف الحديث جاءتهما صحف الصباح تعلن أن إحدى الشركات قد انتجت سفناً فضائية جاهزة للبيع . إذن كان تقدير المحاضر في الليلة السابقة خاطئاً عندما قال بأن هذه السفن تحتاج إلى عشر سنين أو خمس عشرة سنة حتى تصبح متيسرة للجماهير . إن الحضارة دائماً تسير بأسرع مما يقدر لها العلماء .



على أية حال ، فقد أمرته بطلب واحدة واعداد نفسه للقيام برحلة إلى الفضاء ، وهي ستكون مسؤولة عن جميع المشاكل الاقتصادية التي تترتب على ذلك . فوقع هذا الطلب في قلب محسن موقفاً حسناً ، لا سيما وقد رأى أن حماته قد أصبحت سليمة الجسم طيبة الصحة ، وعندما سألتها عن مرضها قالت له بأنها لم تعد تفكر فيه ولم تعد تشعر بشيء لأن هناك شاعلاً آخر عليها أن تشغل نفسها فيه ، وهو العلم الفيزيائي .

وهكذا أصبحت حماة محسن عالمة فيزيائية .

ونشأت صداقة عميقة بين محسن وحماته ، وأخذوا يرددان معاً على المراصد والمختبرات العلمية ، ويدرسان النجوم ومواقعها . وقرآ رأيا آخر الأمر على أن تكون رحلتها إلى الشعرى اليمانية Sirius نظراً لمميزات عديدة في هذا النجم .

فالشعرى اليمانية نجم قريب جداً منا ، إذ لا يبعد عنا أكثر من تسع سنوات ضوئية ، وعلى ذلك فهو جار لنا ، والسفر اليه لا يستغرق وقتاً طويلاً . وبالإضافة إلى ذلك ، فالشعرى اليمانية نجم آخر مرافق له ، يدوران حول بعضهما البعض ، وهذا أمر يلفت الانتباه ، وفيه منظر يسر الناظرين . والشعرى اليمانية أيضاً ، هو أكثر النجوم ( لا الكواكب ) لمعاناً في السماء ، وهو عين الكلب الأكبر ، إن كان لك معرفة بكلاب السماء .

وعلى الشعرى اليمانية أصبح التصميم ، فتمسك مؤقتاً عن هذا الخبر العظيم .

وفي ( الليلة التي تلتها ) ، قالت :

أيها القارئ السعيد ، لم يكذب ينشر خبر الرحلة بين الأصحاب حتى استعد كثير منهم لمرافقة محسن وحماته . وكان من بين المسافرين طبيب ، وموظف صغير السن يبلغ عمره سبعة عشر عاماً ، تزوج قبل عام واحد

ورزق بطفل عمره بضعة شهور . وهكذا تجمعت نخبة طيبة منسجمة ، في أفرادها من حب العلم والرغبة في المغامرة ما يجعلهم يتحرقون شوقاً إلى موعد السفر . وأخذوا أثناء ذلك يجمعون من المؤن والطعام والشراب ما يكفيهم ثمانية عشر عاماً ، لأنهم لم يكونوا متأكدين من وجود طعام وشراب في كواكب الشعرى اليمانية .

وبعد أن تم استعدادهم وعزموا على الانطلاق خرج معظم أهل المدينة لوداعهم ، وكان من جملة المودعين سنية وأولاد محسن . فالأولاد لا يستطيعون ترك المدرسة ، وسنية هي التي ستتولى تدبير أمورهم .

وفي ساعة الصفر انطلقت سفينة الفضاء بين الحنات والدعاء ، والكل يتمنى للمسافرين التوفيق ويرجو لهم السلامة .

كانت السفينة الفضائية واسعة قوية متينة مرحة ، لم تكذب تبعد بهم عن الأرض حتى أخذت تسير بسرعة خارقة لم يسبق أن سارت بها سفينة فضائية من قبل ، وأصبحت سرعتها 99,999,999 بالثقة من سرعة الضوء . وفقد ركبها الجاذبية وأخذوا يتجولون فيها كما شاء لهم الهوى . كان بعضهم يمشي على سقفها ، والآخر يضع الكرسي على الحائط ويجلس عليه ، والثالث يمسك الكوب المملوء بالماء ويقلبه على وجهه فلا ينزل الماء منه ، وهكذا قضوا بعض الدقائق يتسلون بهذه الظاهرة التي لمسوها للمرة الأولى .

ولكنهم سرعان ما شعروا بالجوع ، فقد غادروا المطار في الصباح الباكر دون أن يأكل الفرد منهم لقمة خبز . فاقترحوا أن يسلقوا بيضة على النار ، فأوقد أحدهم وابلور بوزن ووضع عليه البيض وهو مغموص في الماء ، ونظر إلى ساعته فوجد أن الماء قد استغرق خمس دقائق حتى ابتداء يغلي ، ثم انتظر على البيض خمس دقائق أخرى حتى تأكد من نضجه . ووزع البيض على الركاب فأكلوا حصصهم مع بعض الاقتصاد لأنهم كانوا يخشون أن تنفذ المؤن في الأعوام الثمانية عشر المقبلة . وبعد



أن شعبوا وحمدوا الله على نعمته ، أراد الطبيب أن يقوم بعمله الروتيني ، فجلس نبض كل واحد منهم فوجده عادياً . كان نبض حماة محسن أربعة وسبعين نبضة في الدقيقة حسب ساعة الطبيب . وقد نظروا كلهم إلى ساعاتهم فوجدوها سائرة على ما يرام ، وكلها في حالة صالحة .

وكانت حماة محسن شعلة من النشاط فقامت وأشعلت النار مرة أخرى وصنعت فنجان قهوة لكل راكب ، وقد استغرق عمل القهوة دقيقتين على النار ، واستغرق شربها خمس دقائق - كما هي العادة على الأرض . وكان أحد الركاب الظرفاء يحمل كتاب احجيات ، أخذ يلقي منها على الركاب ، فكان منها السهل ومنها الصعب ، إلا أن حماة محسن كانت أسرع الموجودين بديهة ، فكانت تحل كل الاحاجي ، والصعبة منها تستغرقها دقيقة واحدة فقط ، بينما كان بعض الركاب يحتاج إلى خمس دقائق لحل الاحجية نفسها .

هكذا أخذوا يصرفون وقتهم بين أنواع الألعاب والمتع حتى حان موعد الغداء . وكانت حماة محسن على وشك أن تقوم لتحضير الطعام إلا أن ربان السفينة صاح قائلاً : « استعدوا للهبوط على إحدى كواكب الشعرى البائية » .

وعند هذا الصباح تمسك عن الكلام المباح .

وفي ( الليلة التي تلتها ) ، قالت :

أها القارئ السعيد ، عندما سمع الركاب صباح الربان ، استغربوا كلهم من ذلك إلا حماة محسن . فقد كانت ضليعة في النظرية النسبية ، وكانت تعلم قانون تباطؤ الزمن مع السرعة . فشجعت الركاب وهي ضاحكة باسمه ، حتى تمالكوا أعصابهم وأخذوا ينظرون من نوافذ السفينة إلى الكوكب تارة وإلى الشعرى البائية وزفيقه تارة أخرى . وقد أعجبوا بمنظر نجمين يدوران حول بعضهما البعض ، وهو منظر لا يمهدهانه في نظامنا الشمسي . ونظروا إلى الكوكب الذي سيهبطون عليه فوجدوا أن له جواً كثجواً الأرض

فأخذوا يتأملون تغير الألوان أمام أعينهم أثناء الهبوط ، ويتمتعون بتغيرها التدريجي حتى رست بهم السفينة على شاطئ بحر . وكان يبدو من خلال النوافذ أن أرض الكوكب تشبه أرضنا وأن بحرها يشبه بحرنا . وكانوا على وشك أن يفتحوا السفينة ويخرجوا منها إلا أن الربان طلب اليهم المكوث حتى يقوم بفحص الجو إذا كان صالحاً للحياة . فأخذوا يسلطون المنظار إلى البحر مرة وإلى السهل مرة أخرى لعلهم يجدون حيواناً أو نباتاً ، فلم يجدوا شيئاً . وبعد لأي من الزمن أخبرهم الربان بكل أسف أنهم لن يستطيعوا الخروج من السفينة لأن كمية الأكسجين في الجو غير كافية لتنفس الانسان وإذا خرجوا فسوف يختنقون . وطلب اليهم أن يتناولوا طعام غداهم وسيرجعون القهقري بعد ذلك من حيث أتوا .

لم يكن إلى مناقشة الربان في قراره من سبيل ، كعادة كل من يتسلمون مراكز حساسة من هذا القبيل . فقامت حماة محسن لتهيئة الطعام ، وأحضرت بعض اللحوم التي طبخت في صباح ذلك اليوم ، على الأرض قبل أن يغادروها ، فوجدوا أنها لا تزال ساخنة لأنها كانت ملفوفة لفناً جيداً . وما أكملوا غداءهم حتى أفلتت بهم السفينة عائدة أدراجها .

وعندما حل موعد العشاء أخبرهم الربان أنهم قد وصلوا الكرة الأرضية وسيهبطون قريباً في المطار الذي أفلعوا منه في الصباح . كانت الشمس قد غابت عندما أخذت السفينة تحلق فوق المدينة ، فلم يستطيعوا أن يبينوا معالمها بدقة ، غير أنهم لاحظوا أن الانوار الكهربائية تمتد إلى مسافات واسعة أكثر مما يعمدون مما دعاهم إلى الاستنتاج بأن المدينة قد اتسعت اضغافاً مضاعفة . وقد كادوا يشكون بادئ الأمر في أن تكون هي المدينة التي أفلعوا منها ، ولكن حماة محسن أكدت لهم ذلك .

وما أن خرجوا من السفينة حتى رأوا أن هناك بنايات جديدة حول المطار أنشئت حول البناية القديمة ، ونظروا إلى بعض الطائرات الراسية ،



فوجدوا أنها ذات طراز لا عهد لهم به ، ولم يعرفوا من عمال المطار أحداً ، ويظهر أن عمال الصباح كلهم غائبون .

وعندما خرجوا للساحة وجلسوا أنواعاً من السيارات لا يعرفونها من قبل ولم يجدوا سيارة واحدة من الطراز الذي يعرفون ، بل لم يجدوا سيارة تلبس ثوباً من طراز يعرفون . واشترى أحدهم صحيفة مسائية وصباح صحيفة دهبشة عندما قرأ تاريخها . إن تاريخها يدل على أنهم قضوا في السفينة الفضائية ثمانية عشر عاماً !!!

وعند هذا النبأ اللطيف تمسك عن الحديث الطريف .

وفي ( الليلة التالية ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، لم يجد أصحابنا ركاب السفينة الفضائية أحداً ينتظرهم في المطار ، إذ لم يكن لأحد من أهلهم علم بموعد عودتهم . وعندما تفرقوا في ساحة المطار وجد بعضهم صعوبة في معرفة مكان بيته نظراً للتغيير الكبير الذي طرأ على المدينة ، فقد أقيمت فيها بنايات عديدة ضخمة وشقت شوارع جديدة . على أية حال ، فقد اهتموا بعد وقت طويل أو قصير من الزمن ، إلى بيوتهم . ولا تسئل عن المفارقات اللطيفة التي قابلها كل واحد منهم .

كان الطبيب قبل سفره قد ترك ابناً في العاشرة من عمره ، وعندما عاد وجد أن ابنه في الثامنة والعشرين ، وقد حاز منذ بضعة سنين على شهادة في الطب ، وأصبح يعمل في العيادة التي كان يعمل فيها أبوه . وكان الطبيب عندما سافر في الثامنة والعشرين من عمره ، وقد عاد فوجد أنه هو وابنُه في عمر واحد .

هذا ما كان من أمر الطبيب وابنِه . أما الشاب الآخر الذي كان عمره سبعة عشر عاماً ، فقد عاد إلى بيته ليرى زوجته وابنَه الذي تركه وعمره بضعة أشهر ، وشد ما أدهشه أن رأى أن ابنه قد أصبح في التاسعة عشرة من عمره ، أي أن ابنه أصبح أكبر منه . ووقعت مشكلة طريفة

بين الاثنين ، فكل واحد منهما يريد أن يكون ولي أمر الآخر ، فلابد بدعي بهذا الحق لأن له صفة الأبوة ، والابن يدعي بهذا الحق لأنه أكبر من أبيه وأوعى منه ، وأكثر نضجاً .

حدث هذا كله ، أيها القارئ السعيد ، ونحن لم نتحدث اليك عن عائلة محسن . فلقد أشرفت السيدة سنية على تربية أولادها حتى أكملوا مراحل التعليم واشتغل قسم منهم في الأعمال الحرة والقسم الآخر وجد وظائف في الحكومة . وقد تزوج اثنان من أولادها وأصبحت حماة ، وقد أصيبت بالآلام العصبية كمادة الحموات . وكانت هي وأولادها بين الحين والآخر يجلسون سوية للحديث ، وبعد أن تفرغ جعبتها من القيل والقال تذكر محسن ووالدتها ، فكان ابناؤها في السنوات الأولى يمنونها برجوعها ، ولكنهم قطعوا خيط الرجاء في السنوات الأخيرة ، فأخذوا يشاركونها الحسرة والاسف ، ويلعنون السفن الفضائية ورحلاتها المشؤومة .

ومن الصدغ اللطيفة أيضاً أن الفرق بين عمر سنية وعمر والدتها كان ثمانية عشر عاماً ، ولا عادت والدتها بالسلامة أصبحت في عمر واحد ، ونظراً لأن الوالدة دب فيها النشاط وأصبحت تفكر تفكيراً علمياً فلم يمد زرع العائلة بالآلام العصبية ، واكتفت بأن رأت ابنتها وهي تقوم بهذه المهمة خير قيام . أما محسن فقد رأى أن سنية تكبره بأعوام عديدة ، فلم تعد تزعجه بطلباتها الكثيرة ، وأصبح على ابنائها أن يتحملوا نفقات معالجتها . وقد سددت حماه ديونه قبل سفره ، فخللا إلى علمه وعمله وعاش مع عائلته في أحسن حال وأنعم بال .

وعند هذه النتيجة الحميدة ، تمسك عن الأحاديث الفريدة .

وفي ( الليلة الأخيرة ) قالت :

أيها القارئ السعيد ، ليس فيما رويتا عليك شيء يدعو إلى الدهشة أو الغرابة . فقد كانت السفينة الفضائية التي تقل محسن وحماه وبقيسة الركاب ، تسير بسرعة خارقة تقارب سرعة الضوء ( ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩ بالمئة )



وفي سرعة كهذه سيتباطأ الزمن داخل السفينة بحيث يبدو لمن فيها أن الثانية عشر عاماً وكأنها نهار واحد فقط . لأننا إذا عرضنا في المعادلة سنجد أن عامل التباطؤ هو ٧٠٠٠٠ مرة . إن كل شيء في السفينة سيبدو طبيعياً لركابها ، فساعاتهم تمشي وكأن الثانية عشر عاماً نهار واحد ، والنفس والتنفس يسيران وفق دقائق هذه الساعات وثوانها أي وفق الزمن الجاري داخل السفينة الفضائية . والبيضة المسلوقة تحتاج إلى وضعها في الماء الغالي فوق النار مدة خمس دقائق حسب زمن السفينة ، والقهوة يحتاج تحضيرها إلى دقيقتين فقط ، والطعام الساخن الملفوف جيداً يحتاج إلى بضع ساعات لكي يبرد ، وليس يهتما إذا كانت بضع الساعات في السفينة تعادل تسع سنوات على الكرة الأرضية .

وليس ذلك فقط ، بل إن التفكير نفسه يتباطأ ، فالراكب في السفينة يحتاج إلى دقيقة أو دقيقتين أو خمس دقائق لحل أحجية ، وهو لا يعلم أن الدقيقة في السفينة تعادل خمسين يوماً على الأرض . وزيادة على ذلك فإن الراكب فيها لا ينمو في هذه المدة إلا كما ينمو في يوم واحد حسب ساعته وهو على الأرض .

إن كل شيء يتباطأ بالنسبة نفسها ، ضربات القلب والتنفس وعمليات الهضم والتفكير والنمو وجميع العمليات الكيميائية والطبيعية الأخرى .

ولو كانت الرحلة إلى مسافة أبعد من الشعري الثانية وتستغرق خمسين أو مئتين سنة ، فسيرجع الراكب ويجد أن أحفاده أكبر منه سناً . وسوف يتساءل القارئ السعيد ، وما الذي سيحدث إذا ما سار الإنسان بسرعة الضوء ؟

إذا عرضنا في المعادلة سنجد أن معامل التباطؤ يصبح صفراً . وبفرضه في الزمن يصبح الزمن صفراً . أي أن السائر بسرعة الضوء لا زمن له ، إذ يقف قلبه عن النبض ورثاه عن التنفس ودماغه عن التفكير وجسمه

عن النمو ، وتتكون النار باردة ، والبيض الموضوع عليها لن ينضج ، يستوقف كل العمليات الطبيعية والكيميائية . فوقانا الله جميعاً من أن نسير بسرعة الضوء .

وبناء على هذا التدرج في المنطق ، سيسأل القارئ سؤالاً آخر ، وما الذي سيحدث إذا كان الإنسان يسير بأسرع من الضوء ؟

إن هذا التدرج المنطقي سوف يدلنا على أن الزمن سيرجع القهقري ، والذي يسافر اليوم يعود بالأمس !!!  
وحسب هذا المنطق قيل الشعر التالي :

وفتاة جامحة للقضاء طامعة

تسبق الضوء إذا تركتنا صارحة

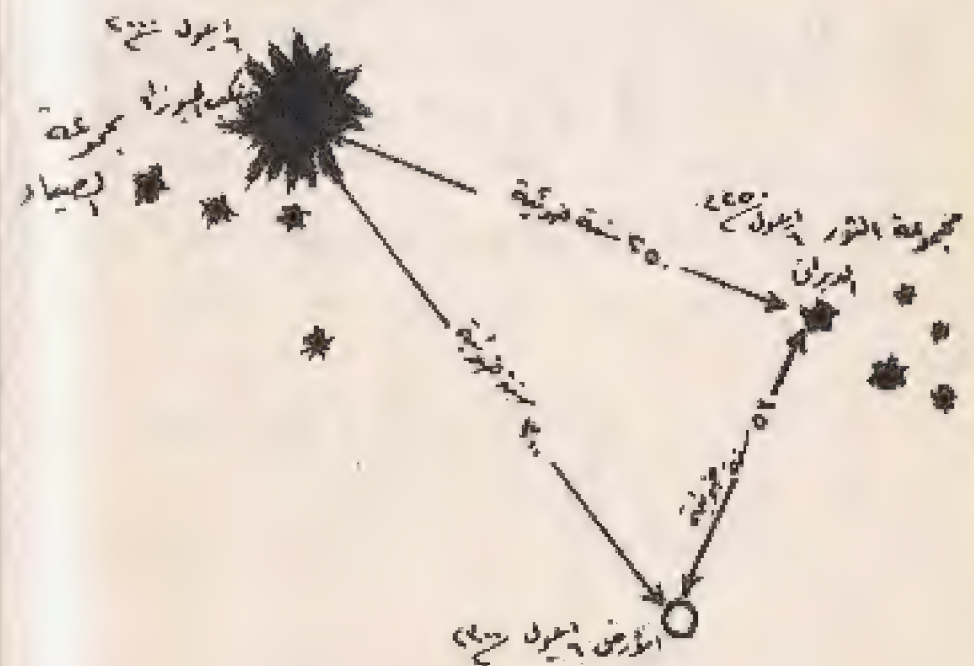
غادرتنا اليوم ثم أتتنا البارحة

ولكننا قد كررنا القول مرّات عديدة في هذا الكتاب بأن النظرية النسبية تقول باستحالة السير بسرعة الضوء لأي جسم مادي آخر ، وإذا شاء القارئ السعيد أن يطبق المنطق على المستحيل فهو وشأنه . وبهذه الجولة ، ننهي حديثنا عن الف ليلة وليلة .



## الزمن هو البعد الرابع

أجد نفسي هنا مضطراً لتكرار مثل كنت قد ذكرته في أول البحث ولكني سأكرره بشكل آخر آملاً أن لا يتعبه القارئ إلى أنه قد مر عليه فيما سبق .



(شكل ١٧)

أبعاد مجموعة النور والصيد

إذا نظرنا إلى الشكل (١٧) نجد أن الأرض تبعد ثلاثمائة سنة ضوئية عن نجم منكب الجوزاء Betelgeuse الموجود في مجموعة الصيد. وتبعد مسافة ثلاثة وخمسين سنة ضوئية عن نجم الدبران Aldebaran الموجود في مجموعة الثور ، بينما يبعد هذان النجمان - منكب الجوزاء والدبران - عن بعضهما البعض مئتين وخمسين سنة ضوئية .

لنفرض الآن ان انفجاراً حدث في منكب الجوزاء في السادس من ايلول سنة ٢٠٠٠ ميلادية ( وهذا التاريخ وما يلي من تواريخ ، هو بناء على حساب الزمن المتبع عندنا في الأرض ) . إننا لن نستطيع - نحن سكان الكرة الأرضية - أن نرى الانفجار أثناء وقوعه ، لأن بعد منكب الجوزاء عنا ٣٠٠ سنة ضوئية . وهذا يعني أن أشعة الضوء التي سوف تنقل أخبار الانفجار تحتاج إلى ٣٠٠ سنة حتى تصلنا . وهذه هي الطريقة الوحيدة التي يمكن أن نخبرنا عن وقوع الانفجار . وسيكون تاريخ الانفجار بالنسبة لنا هو ٦ ايلول سنة ٢٣٠٠ ، بينما سيكون تاريخ الانفجار بالنسبة للنجم الدبران ٦ ايلول سنة ٢٢٥٠ ، لأن الأخير يبعد ٢٥٠ سنة ضوئية عن منكب الجوزاء .

وهكذا ، فإن هذا الحادث المعين وقع في أوقات مختلفة بالنسبة لأماكن مختلفة .

ولقد كان العلم ما قبل النظرية النسبية يحدد موقع الشيء بتحديد موقعه المكاني واستعمال المتر أو اليارد أو مضاعفاتهما في سبيل ذلك . ولم يكن الزمن يدخل في حساب تحديد الموقع لأنه كان يعتبر نفس الشيء لجميع الأمكنة في هذا الكون . أما الآن فإن نظرنا للزمن تختلف كلياً .

وما دامت الأجرام السماوية - وهي التي نحدد بوجودها مواقع معينة من الفضاء - في حركة دائمة مستمرة ، فلا يمكن تحديد مكان الآ بتحديد الزمن معه ، لا سيما وأن لكل مكان زمن خاص به . فالنجم الدبران ،



الذي يبعد عنا ثلاثة وخمسين عاماً ضوئياً ، يرى الأرض الآن حيث كانت قبل ثلاثة وخمسين عاماً . ولو كانت له كواكب وفيها بشر أوتوا مسن وسائل التقدم في البصرات ما يستطيعون بها رؤية الأرض وما عليها من أحداث ، لكانوا في هذه اللحظة يشاهدون عظمة الامبراطورية العثمانية ، واتساع روسيا القيصرية . انهم مجهلون حتى الآن قيام الحرب العالمية الأولى ، بله الثانية ، وسيبدأون بعد بضع سنوات ( أي في اليوبيل الثالث والخمسين لقيام الحرب العالمية الأولى على الأرض بالنسبة لنا ) يقولون : « ها قد نشبت حرب على سطح الكرة الأرضية » ، وسيرون المعارك الطاحنة التي دامت أربع سنوات ويتبعونها بقدر ما تسعهم الآلات المتيسرة لديهم . إنهم يرون الأرض الآن في موقع معين ، هو الموقع الذي كانت فيه قبل ثلاث وخمسين سنة . فلا يمكن لسكان كواكب الدبران أن يحددوا موقع الحرب العالمية الأولى من الكون دون أن يقرنوها بالزمن . وإذا قالوا إن الحرب العالمية الأولى وقعت على سطح الأرض ، فلن يكون هذا كافياً لتحديد موقعها بالنسبة للكون . فالأرض متحركة وهي في كل لحظة في مكان غير المكان الذي كانت فيه في اللحظة التي سبقتها . ونحن في حياتنا العادية إذا أردنا أن نحدد حادثاً معيناً كاللقاء مع صديق أو اصطدام سيارة ، فاننا عادةً نذكر المكان ثم نذكر وقت الحادث ، وليكننا نعتبر أن الوقت أو الزمن متفصل تمام الانفصال عن المكان .

أما النظرية النسبية فتري أنه بعد من الأبعاد . وبالإضافة إلى ذلك ، فالزمن يتغير حسب السرعة ، بنفس العامل الذي يتغير فيه البعد المتحرك باتجاه السرعة ( انكماش الطول ) . وهذا

العامل هو  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  ، ويصبح الزمن صفراً في

اللحظة التي يصبح فيها الطول صفراً وذلك عندما تصبح سرعة الجسم هي سرعة الضوء .

إذن ، فالعلاقة بين الأبعاد المكانية ( الطول والعرض والارتفاع ) والبعد الزمني هو أوثق مما كنا نظن . بل إن النظرية النسبية تعتبر البعد الزمني بعداً رابعاً تضيفه إلى حساباتها .

ومهما أجهدنا مخيلتنا وعصرنا فريحتنا فاننا لن نستطيع أن نتصور جسماً بأربعة أبعاد . فإلى أي جهة سوف تمتد البعد الرابع ؟ وهل سيكون عمودياً على الأبعاد الثلاثة الأخرى ؟ إننا إذا أمسكنا مكعباً نموذجياً نرى أن أبعاده الثلاثة عمودية على بعضها البعض فكيف يكون البعد الرابع ؟

لكن لماذا نحاول أن نتخيل الزمن كبعد يمكن رسمه على الورق ؟ وما هو لزوم ذلك ؟ إننا حتى قبل ظهور النسبية ننظر إلى الزمن على أنه يحدد صفة لها بعد بشكل ما ، من طبيعة الأجسام ، سواء عند وقوع حادث لها ، أو عند نشوئها أو فنائها . فلتخيله كذلك الآن ، ولكن لنعرف أنه ذو صفة أقرب إلى الأبعاد المكانية مما كنا نتصور ، لننظر الآن إلى البيت الذي نعيش فيه على أنه جسم فيزيائي له أبعاده المكانية ، طوله وعرضه وارتفاعه وله بعد آخر ، يمتد منذ إنشائه في الناحية الزمنية ، وينتهي عند دماره بشكل من الاشكال ، سواء أكان ذلك بزلزال - لا سمح الله - كما حدث في أغادير فقطع الأبعاد الزمنية لبيوتها وعماراتها ، أو شاء صاحب البيت هدمه علينا لأننا تأخرنا في دفع قيمة الإيجار أو لبناء بيت آخر مكانه ، أو ما إلى ذلك .

ويجب أن نعلم أن البعد الزمني يختلف من حيث طبيعته عن الأبعاد المكانية . فبينما نقيس الزمن بدقات الساعة ، نقيس المسافات بالمتر واليارد . والمتر ( أو اليارد ) يمكن أن نمسكه بأيدينا فنقيس به الطول ، ثم نغير اتجاهه فنقيس به العرض ، ثم نغير اتجاهه مرة أخرى فنقيس به الارتفاع . بينما لا يمكن أن نقيس به البعد الرابع مهما غيرنا اتجاهه . وبالإضافة إلى



ذلك فإننا نستطيع أن نتحرك داخل الأبعاد المكانية حيث نشاء ، فنسير إلى الأمام ، ونرجع إلى الخلف ، ونلثفت فسير إلى اليمين أو إلى الشمال ، ونصعد ونهبط أنتى شئنا ، بينما نسير في تيار الزمن باتجاه معين رغم انقوائنا ، لا نستطيع أن نعود فيه القهقري .

ولذا فإننا نستطرق الشعر الذي يتلاعب بتقديم الزمن وتأخيرته ، كقول أحمد شوقي في رثاء مكشوف توت عنخ آمون :

أفضى إلى ختم الزمان قفصه وحبا إلى التاريخ في حواره  
وطوى القرون القهقري حتى أتى فرعون بين طعامه وشرابه

أما أحمد رامى فإنه يحاول أن يسبق الزمن حين يقول في قصيدة تغنيها ام كلثوم :

من كثر شوقي سبقت عمري وشفت بكرة الوقت بدري

لكن هذا كله كلام شعراء ، وترجع حلاوته إلى تحدّي المفاهيم التي يدركها الناس بطبيعتهم عن الزمن .

مهما يكن من أمر ، وعلى الرغم من اختلاف طبيعة البعد الزمني عن الأبعاد المكانية ، فإننا لا نزال نستطيع أن نعتبره بعداً رابعاً عندما نتعرض لبحث الحوادث الكونية ، على أن لا ننسى أنه ذو طبيعة مختلفة .

وعلى ذلك ، فإذا نظرنا إلى مكعب نموذجي ، من وجهة نظرنا النسبية ، يجب أن نعتبر أنه مكعب عادي ميمكت في الوجود مدة معينة من الزمن ، وليس من الضروري أن يكون البعد الزمني عمودياً على أبعاده الأخرى .

ووجهة النظر هذه لا تنطبق على المكعب وحسب ، بل تنطبق على الاجسام الفيزيائية جميعها بما في ذلك الكائنات الحية . ولذا يجب أن ننظر إلى نفسك أيها القارئ على أن أبعادك المكانية ممتدة أيضاً في اتجاه

زمني معين يبدأ بولادتك وينتهي بعد عمر طويل إن شاء الله . ويمكن أن نرسم شكلاً بيانياً لحياة الإنسان كالشكل (١٨) الذي يظهر فيه بعدان فقط يمثلان الأبعاد المكانية (وذلك لتعذر رسم ثلاثة أبعاد) ، وبعد ثالث أفقي وهو عمودي عليهما يمثل الزمن .



شكل (١٨)

رسم بياني لحياة الإنسان

والشكل البياني بالطبع يمثل فترة قصيرة جداً من حياة الإنسان ذي البعدين المرسوم فيه . ولو أردنا أن نمثّر عن حياة الإنسان كلها لاحتجنا إلى صورة أطول بكثير مما هي ظاهرة في الشكل . ويكون الإنسان فيها في البداية صغير الحجم عندما يولد ، ثم يأخذ ينمو بالتدريج وإذا هرم أخذ يفقد ما تراكم عليه من الشحم في شبابه وفي كهولته ، ونجد عندئذ أن شكله أخذ يصغر ، حتى إذا مات نجد أن شكله في الرسم البياني يظل ثابتاً مدة من الزمن حتى يبدأ جسمه بالانحلال فيتلاشى شكله في الرسم وتأخذ ذراته تتوزع في سبيلها .

وإذا أردنا أن نكون أكثر دقة في كلامنا نقول : إن ذلك الشكل البياني يمثل عدداً من الذرات متجمعة مع بعضها البعض بحيث تعطينا صورة الإنسان ذي البعدين . وهي في حالة تجمعها على هذا الشكل تكون لنا



وفي لغة الهندسة النسبية يعرف الخط الذي يمثل تاريخ حياة كل جسم بالخط الكوني لذلك الجسم . والجسم الكبير يمثل في الرسم البياني حزمة أو أكثر من الخطوط الكونية .

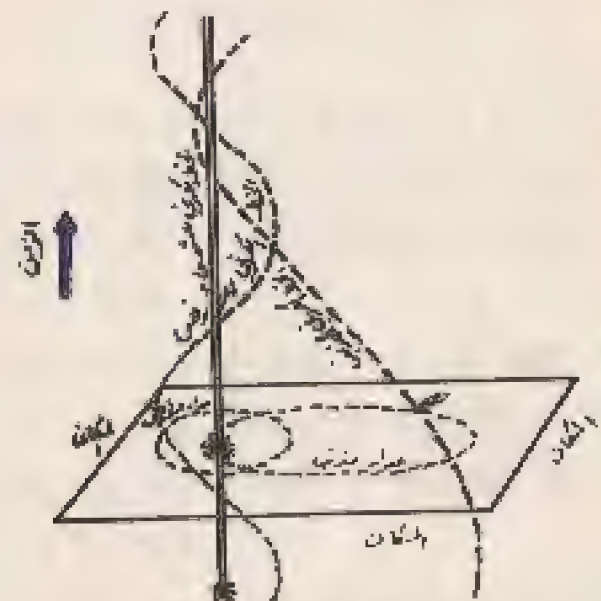
وفي الشكل ( ١٩ ) تظهر الخطوط الكونية للشمس والأرض وأحد المذنبات . والمكان يمثل فيه بعدين فقط ، كما فعلنا في الرسم البياني السابق ، وقد رسم على مستوى مدار الأرض ، أما محور الزمن فيظهر عمودياً عليه .

ويظهر الخط الكوني للشمس كخط مواز لمحور الزمن ، وذلك لأن الشكل البياني يحمل حركة الشمس اهمالاً كلياً ، ويعتبرها ثابتة ( وذلك خشية تعقيد الرسم فقط ) . بينما يظهر الخط الكوني للأرض - التي تتحرك في مدار شبه دائري حول الشمس - على صورة خط لولبي يدور حول الخط الكوني للشمس بانتظام . أما الخط الكوني للمذنب فهو لولبي أيضاً إلا أنه مرة يبتعد كثيراً عن خط الشمس الكوني ، ومرة يقترب منه كثيراً . نرى من هذا كله ، أن هندسة الابعاد الأربعة للكون ، تدمج المكان بالزمان في صورة منسجمة تمام الانسجام . وما علينا إلا أن ندرس خطوطاً كونية عديدة للذرات والكائنات والنجوم .

### للتكافؤ بين الزمان والمكان :

أشرنا مرتين فيما سبق إلى الأرقام الزمنية التي تستعمل لقياس المسافات ( أي الابعاد الفضائية ) . ونحن بدلاً من أن نقول إن البعد ما بين عمان والقُدس تسعون كيلومتراً ، نقول عادة إن البعد ساعة من الزمن . وهذا في الواقع ما يتظاهرون به سائقو السيارات ، وإن كانوا يقولهم هذا لا يكترون لقوانين السير على الطرق الذي يحدد السرعة القصوى بستين كيلومتراً في الساعة فقط . ونحن نضاهيهم من قولهم هذا أنهم يقطعون الكيلومترات التسعين في مدى ساعة من الزمن ، فاسمعي يا دائرة السير .

الإنسان المعبين الذي نتحدث عنه . ولكل ذرة من الذرات خط بياني يمثلها . والإنسان الظاهر في الشكل هو مجموعة هذه الخطوط البيانية . وهذه الذرات تزيد وتنقص حسب الظروف التي يمر بها الإنسان في حياته من طفولة ، فنمو حتى يبلغ مبلغ الشباب ويكتسب الصحة الجيدة ، فحب يبدأ يهزل من جرائه مدة من الزمن ، فزواج وحياة منتظمة لبضعة شهور تعيد إليه صحته السابقة ، فتزاع وخصام ما بينه وبين زوجته أو حماته أو زوجة أبيه يقضي على صحته فيعود إليه التحول المقترن بالرهل نتيجة تحطيم معنوياته من مصائب زوجة الأب والاولاد والديون . حتى يقضي الله أمراً كان مفعولاً . فيموت . ونجد عندئذ أن خطوط الذرات البيانية أخذت شكلاً ثابتاً لفترة من الزمن ثم أخذت كل ذرة تسلك طريقها الخاص بها ، إلا تلك الخطوط التي تمثل العظام فانها تمكث مدة أطول حتى تنحل .



شكل ( ١٩ )  
الخط الكوني للشمس والأرض



والطريقة نفسها هي التي يتبعها علماء الفلك في قياس الأبعاد الفضائية الشاسعة ، إلا أنهم عندئذ لا يتخذون سرعة السيارة أساساً يستلزون عليه ، إنما يستلزون على سرعة الضوء .

ومن المعروف أن سرعة الضوء تساوي ٢٢٩٧٧٦ كيلومتراً في الثانية ، أو ١٨٦٣٠٠ ميلاً - ثانية .

وبناء على ذلك ، فإن الضوء في سنة كاملة يقطع المسافة التالية :

$$٢٢٩٧٧٦ \times ٦٠ \times ٦٠ \times ٢٤ \times ٣٦٥ = ٩٤٦٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ \text{ كيلومتراً .}$$

$$١٨٦٣٠٠ \times ٦٠ \times ٦٠ \times ٢٤ \times ٣٦٥ = ٥٨٧٩٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ \text{ ميلاً .}$$

وعندما يستعمل الفلكيون السنة الضوئية لقياس المسافات ، فإنهم يعمون بها هذا العدد من الكيلومترات أو الأميال التي يقطعها الضوء في مدة سنة .

ولا يهمنا في الواقع عدد الكيلومترات أو الأميال التي نعدّها عليها السنة الضوئية في بحثنا هذا . ولكن المهمّ لدينا هو أننا أصبحنا نستعمل الوحدات الزمنية للدلالة على أبعاد فضائية . وفي هذا اعتراف ضمني بأن الزمن بعد من الأبعاد . وهو اصطلاح كان يستعمل حتى قبل ظهور النظرية النسبية .

ونستطيع أيضاً أن نعكس العملية ونتكلم عن الميل الضوئي ، والكيلومتر الضوئي ، واجزائهما الضوئية . فالميل الضوئي هو الزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع مسافة ميل واحد . وهو يساوي ٠,٠٠٠٠٠٥٤ ثانية . وبالمثل فالقدم الضوئي يساوي ٠,٠٠٠٠٠٠٠١١ ثانية ، وهكذا .

وعلى ذلك ، فإذا أمسكنا مكعباً نموذجياً وكان طول كل ضلع من أضلاعه قدماً واحداً ، فإن علينا أن نعتبر أن بعده الزمني ٠,٠٠٠٠٠٠٠١١ ثانية ، لكي يبقى نموذجياً من وجهة نظرنا ذات الأبعاد الأربعة . أما إذا فرضنا أن عصر المكعب كان شهراً من الزمن ، فسوف لا نعتبره نموذجياً لأن بعده الزمني ممتد امتداداً هائلاً تجاه الزمن .

## المسافة في عالم الأبعاد الأربعة

ما دمنا قد عرفنا الوحدة التي يمكن أن نقارن بها الامتداد الفضائي بالامتداد الزمني ، نستطيع الآن أن نتساءل عن المسافة في عالم الأبعاد الأربعة وعن كيفية الوصول إلى قياسها .

إننا نعرف أن المسافة في الفيزياء الكلاسيكية هي البعد بين نقطتين من المفهوم أنهما ثابتتان . ولكن الفيزياء النسبية ترى أن كل شيء متحرك ، والشيء نفسه لا يكون في لحظتين متتاليتين في الموضع نفسه ، ولهذا تدخل الزمن في حسابها .

والمسافة في الفيزياء النسبية هي البعد بين نقطتين متحركتين ، أو البعد بين حادثتين ( فالحركة بذاتها حادث يدخل في الحساب ) تفصل بينهما فترة زمنية بالإضافة إلى الفترة المكانية .

إن قياس المسافة في عالم البعد الواحد أمر بسيط جداً ، لا يتعدى أن تحمل مسطرة أو متراً أو يارداً وتسجل المسافة بين نقطتين . ولنفرض أنك كنت تجلس في سوق الخضار في عمان ، وأردت أن تقيس المسافة بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ، فما عليك إلا أن تحضر حبلًا وتشده ما بين المكانين وتقيس طوله . ولنفرض أنك وجدت طول الحبل ثلاثمائة



باردة ، فيكون هذا الرقم هو طول المسافة ما بين النقطتين ، ونقول عندئذ  
أن البعد ما بين المكان الذي تجلس فيه في سوق الخضار والجامع الحسيني  
ثلاثمائة باردة ( ٩٠٠ قدماً ) .

أما القياس في عالم البعدين ، فنلجأ فيه عادة إلى طريقة أخرى إذا  
تعلم أن نقيس المسافة مباشرة ما بين نقطتين . وهذه الطريقة هي تطبيق  
نظرية فيثاغورس في الهندسة المستوية التي تقول بأن المربع المقام على وتر  
المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع المربعين المقامين على الضلعين الآخرين .  
وتسمى هذه النظرية أيضاً بنظرية الحمار نسبة إلى الشكل الذي تحصل عليه  
فيها لو رسمت مربعات على اضلاع المثلث القائم الزاوية ، لا نسبة إلى  
فيثاغورس .

وإذا أردت أن تقيس المسافة ما بينك وبين نادي عمان ، عندئذ  
كنت تجلس في سوق الخضار ، فيمكنك أن تستنتج طولها من قياسين :  
أحدهما هو البعد ما بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ، وقد قلنا أنه  
يبلغ ٣٠٠ باردة ( أو ٩٠٠ قدماً ) والآخر هو البعد ما بين الجامع الحسيني  
الكبير ونادي عمان وقد قسمته بطريقة الخيل المشدود فوجدت أن المسافة  
بينهما ٤٠٠ باردة ، أو ( ١٢٠٠ قدماً ) . فتكون المسافة ما بينك وأنت  
جالس في سوق الخضار وبين نادي عمان هي كما يلي :

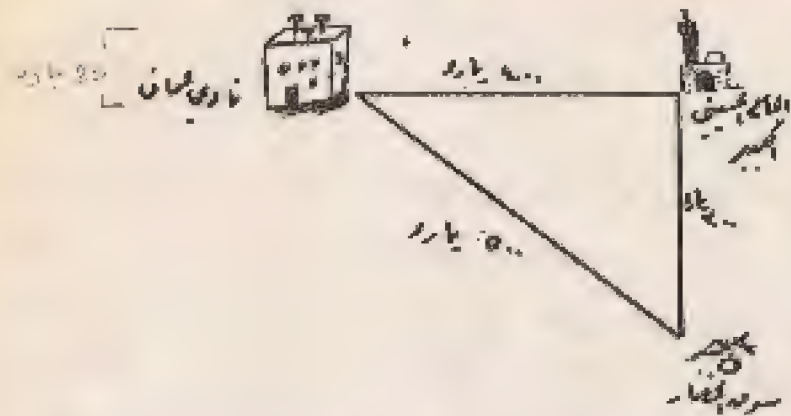
$$\sqrt{(400) + (900)} =$$

$$\sqrt{1600 + 900} =$$

$$\sqrt{2500} =$$

$$500 = \text{باردة}$$

وإذا جعلنا أرقامنا بالاقلام فسوف نحصل على جواب قدره ١٥٠٠ قدماً .



كيف تقيس المسافة بينك وبين نادي عمان  
وأنت جالس في سوق الخضار

(شكل ٢٠)

أما في عالم الأبعاد الثلاثة فالأمر لا يختلف كثيراً ، وما علينا عندئذ إلا  
أن نحري تطبيق نظرية فيثاغورس نفسها ، ولكن نضع مربع الأبعاد الثلاثة  
تحت علامة الجذر التربيعي في هذه الحالة .

ولنفرض أن زوجة أهلك كانت تجلس على سطح نادي عمان في الوقت  
الذي كنت تجلس فيه في دكان في سوق الخضار ، وأردت لشدة الاشتياق  
أن تعرف المسافة ما بينك وبين زوجة أهلك . ونفرض أن ارتفاع سطح  
نادي عمان عن الأرض خمسة وعشرين يارداً ، وأنت تعرف البعدين  
الآخرين : ما بين نادي عمان والجامع الحسيني الكبير ٤٠٠ يارداً ، وما  
بينك وبين الجامع الحسيني الكبير ٣٠٠ يارداً . فسيكون بعدك في هذه  
الحالة عن زوجة أهلك العزيزة ما يلي :



$$\sqrt{(25) + (300) + (400)} =$$

$$\sqrt{50.625} =$$

$$7.1 = \text{يارداً تقريباً}$$

بهذه الطريقة عادة نقيس المسافة في عالم الابعاد الثلاثة .  
فكيف نقيسها في عالم الابعاد الأربعة ؟

\* إن المسافة في هذه الحالة يدخل فيها عامل الزمن بالإضافة إلى العوامل الثلاثة السابقة ، وهو العامل الذي يسجل الفرق ما بين حادثين . ولتوضح ذلك بمثال المعهود . لنفرض أن زوجة أبيك كانت تجلس على سطح نادي عمان مع بعض القريبات والصديقات يحتفلن بعيد ميلادها السابع والثمانين ( أي الثالث عشر قبل المئة ) ، ومرت ذكرك على لسان احدهن فقالت زوجة أبيك « يا له من بحيل ! » نطقت هذه الجملة في الوقت الذي دقت فيه ساعة الراديو العاشرة صباحاً . وكنت انت في ذلك الوقت في سوق الخضار تستمع إلى الراديو الموجود في الدكان ، وقد ناديت حملاً بحمل الفواكه التي اشتريتها ، وأخذت تدفع ثمنها لصاحب الدكان ، وكان باهظاً جداً كما هي العادة ، وسألت البائع الذي اشفق عليك لما رأى أنك تفرغ كل ما في محفظتك له « ولم اشترت كل هذا ؟ » فقلت احتفاءً بعيد ميلاد زوجة أبيك . فقال بائع الخضار « هنيئاً لزوجة أبيك بك » فقلت « يا لها من طيبة ! » نطقت هذه الجملة الأخيرة وانت تنظر إلى ساعتك استعداداً لمغادرة الدكان ، فوجدت أن عقرب الدقائق يشير إلى تمام الدقيقة الواحدة بعد العاشرة . فما هي المسافة المكانية الزمانية التي تفصل ما بينك وبين زوجة أبيك : عندما ذمتك وعندما مدحتها ؟

إننا عندما نريد أن نقوم بهذه العملية الحسابية يجب أن تكون العوامل

كلها متشابهة ، ويجب علينا أن نحول الزمن إلى ابعاد طولية . فالدقيقة في المسألة السابقة يجب أن نحولها إلى ياردات أو اقدام أو أي وحدة أخرى بحيث تماثل العوامل الثلاثة الأخرى في المسألة .

وبما أننا قد أخذنا منذ البداية نقيس بالياردات ، إذن علينا أن نحول الدقيقة إلى مكافئها من الياردات . ففيها ستون ثانية وفي كل ثانية ١٨٦٣٠٠ ميل وفي كل ميل ١٧٦٠ يارد .

إذن فالفاصل الزمني وحده يساوي :

$$١٧٦٠ \times ١٨٦٣٠٠ \times ٦٠$$

ونبدأ بتطبيق نظرية فيثاغورس السابقة ، فنجد مربع الطول ومربع العرض ومربع الارتفاع ومربع الفاصل الزمني ، ونضع علامة الجذر التربيعي ، وبدلاً من أن نجعلها كلها مع بعضها البعض ونضعها تحت علامة الجذر التربيعي كما هو منتظر ، نجد أن آينشتاين يفاجئنا مفاجأة غريبة ويقول ، إننا نجمع مربع الطول مع مربع العرض مع مربع الارتفاع ونطرح من ذلك مربع الفاصل الزمني ، أي نضع قبل رقمه علامة ناقص ونجد الجذر التربيعي للناتج .

وعلى ذلك ، فالمسافة الزمانية المكانية التي تفصل بينك وبين زوجة أبيك ، بين ذمتها وإياك ومدحك وإياها ، هي كما يلي :

$$\sqrt{(25) + (300) + (400) - (1760 \times 186300 \times 60)} =$$

وقد يبدو الجواب غريباً لضخامة العامل الزمني بالنسبة للعوامل الثلاثة الأخرى ، إذ نحصل على الجذر التربيعي للعدد الناقص . ولكن الواقع هو أن تطبيقات النظرية النسبية في حياتنا العادية تعطينا نتائج غريبة دائماً . أما لو حاولنا أن نطبقها على مسافات شاسعة كتلك التي بين النجوم والكواكب ، فستعطينا نتيجة معقولة .

ولنأخذ على ذلك مثلاً من النظام الشمسي نفسه . الحدث الأول هو



انفجار القنبلة الذرية في بكيني الساعة التاسعة من صباح اليوم الاول من شهر تموز سنة ١٩٤٦ ، والحدث الثاني هو سقوط نيزك على سطح المريخ ، في الدقيقة الأولى بعد التاسعة من صباح اليوم نفسه . وعلى ذلك فسيكون الفاصل الزمني ( بالاقدام )  $54000000000$  قدماً ضوئياً ، وسيكون الفاصل الفضائي  $65000000000$  قدماً . وستكون المسافة ذات الابعاد الأربعة ما بين الحدثين :

$$\sqrt{(10 \times 54) - (10 \times 65)} = \text{قدماً}$$

$$10 \times 26 = \text{قدماً}.$$

وهذا القدم الأخير ( واليارد في المثل السابق ) ، يختلف اختلافاً كبيراً عن القدم الذي يستعمل لقياس المسافات الخالصة والقدم الضوئي الذي يستعمل لقياس الزمان الخالص . إن الغرابة التي تنطوي عليها المعادلة السابقة تستوجب أن نتحدث عنها بعض الحديث لزيادة الاستيعاب .

إن آينشتاين يرى في النظرية النسبية أن كل شيء متحرك ، ولا يكون الشيء نفسه في المكان نفسه في لحظتين متتاليتين ، ويرى أيضاً أن الزمن هو بعد رابع ، كما سبق وقلنا ، إذن ففي قياس المسافة ذات الابعاد الأربعة يجب أن يدخل العامل الزمني ، لأن المسافة في عالم الابعاد الأربعة هي الفاصل الزمني المكاني بين حدثين .

ويقول آينشتاين في النظرية النسبية : « يمكن تحديد المسافة ذات الاربعة ابعاد بتعميم بسيط لنظرية فيثاغورس ، وهذه المسافة تلعب دوراً أساسياً في العلاقات الفيزيائية بين الاحداث الكونية ، أهم من الدور الذي يلعبه الفاصل المكاني وحده أو الفاصل الزمني وحده . » وإذا كان علينا أن نستعمل الوحدات المكانية والوحدات الزمانية في معادلة

واحدة ، كان علينا أن نجد وحدات متشابهة ، كما أننا إذا أردنا أن نجمع فلسات مع دنانير فإننا نقوم بتحويل أحد العاملين إلى الآخر قبل أن نبدأ بعملية الجمع .

وكما رأينا فيما سبق ، فإن آينشتاين يستعمل سرعة الضوء ترجماناً ما بين الابعاد المكانية والابعاد الزمنية .

$$\text{فالثانية الزمنية} = 186300 \times 1760 \text{ يارداً}.$$

$$\text{أو} = 186300 \times 1760 \times 3 \text{ قدماً}.$$

وبما أن التعميم البسيط لنظرية فيثاغورس ، كما يفهم لأول وهلة ، هو جمع مربعات العوامل الأربعة واستخراج الجذر التربيعي للمجموع ، فسوف نرى أننا إذا قمنا بهذا الحساب على هذا الشكل كان معنى ذلك أننا لم نعد نرى أي فرق بين الزمان والمكان إطلاقاً . ومعنى ذلك أيضاً أننا نستطيع أن نحول الزمان إلى مكان والمكان إلى زمان . وآينشتاين نفسه لا يستطيع أن يقوم بسحر كهذا .

ولذلك ، فإذا أردنا أن نقوم بهذه العملية الحسابية ، يجب أن نعمل شيئاً ما داخل معادلة فيثاغورس لكي نحافظ على طبيعة البعد الزمني . ويرى آينشتاين أننا نستطيع أن نحافظ على الاختلاف الطبيعي بين المسافات المكانية والمسافات الزمنية بوضع علامة ناقص قبل مربع العامل الزمني . وعلى ذلك ، فإن المسافة ما بين حدثين تساوي الجذر التربيعي لمجموع مربعات الابعاد المكانية ناقص مربع البعد الزمني . ( بعد تحويله طبعاً إلى مكافئه المكاني ) .

وقد يعترض المرء ، وله الحق في أن يعترض ، على هذه الهندسة الغريبة غير المنطقية التي يعامل فيها أحد العوامل بغير ما تعامل به العوامل الأخرى ، ولكن يجب أن لا ننسى أن أي نظام رياضي - وضع لكي يصف الكون الفيزيائي - يجب أن يوضع على الشكل الذي يناسب ظواهر الكون . وإذا كانت ظاهرة المكان تختلف عن ظاهرة الزمان في



طبيعتها ، فيجب أن توضع الهندسة ذات الأبعاد الأربعة بناءً على هذا الأساس .

ويرى العالم مينكوفسكي Minkovskij أن تطبيق نظرية فيثاغورس على هذا الشكل ما هو في الواقع إلا امتداداً لهندسة اقليدس نفسها . وكل

ما عملناه هو أننا اعتبرنا العامل الزمني خيالياً عندما ضربناه في  $\sqrt{-1}$  .

ومن المعروف في الحساب أنك تستطيع أن تقلب الرقم خيالياً إذا ما ضربته

في  $\sqrt{-1}$  . وقد قمنا بذلك لأننا رأينا أن طبيعة الزمان تختلف

اختلافاً كبيراً عن طبيعة المكان ، والرقم الذي يدل عليه هو خيالي محض .

فلذا اعتبرنا أن الرقم الزمني هو خيالي وأنه يحمل علامة ناقص بطبيعته كان لدينا في المثل الأول الأرقام التالية :

البعد الأول : ٣٠٠ يارد

البعد الثاني : ٤٠٠ يارد

البعد الثالث : ٢٥ يارد

البعد الرابع :  $(1760 \times 186300 \times 60) \times \sqrt{-1}$

وإذا أخذنا هذه العوامل على شكلها هذا ، والعامل الرابع يحمل علامة ناقص بطبيعته ، كانت المسافة ذات الأبعاد الأربعة هي مجموع مربعات هذه العوامل . وهذا تطبيق حرفي لنظرية فيثاغورس بعد تعميمها .

سأل شيخ مصاب بالروماتيزم صديقه الصحيح الجسم كيف استطاع

أن يتجنب الروماتيزم ، فقال الصديق :

— « إنني استحم بالماء البارد كل صباح ، طيلة حياتي . »

فهرز الشيخ رأسه ونظر إلى صديقه وقال :

— « إذن فأنت مصاب بحمات المياه الباردة بدل الروماتيزم . »

فلذا شاء القارئ فله أن يستعمل نظرية فيثاغورس المصابة بالروماتيزم ، وعلامة الاصابة هي وضع علامة ناقص قبل مربع الزمن . وإذا شاء فله

أن يعطي عامل الزمن حمام ماء بارد فيضربه في  $\sqrt{-1}$  .



## كيف ينقلب المكان الى زمان والزمان الى مكان

لا حول ولا قوة إلا بالله . إن العنوان ليدلنا على اننا مقدمون على موضوع فيه من الغرابة ما لم نعهده حتى الآن .

كنا - ولا نزال - إذا قرأنا قصص ألف ليلة وليلة وقصة الملك سيف بن ذي يزن وأبي زيد الهلالي ، نستغرب ونستطرف قصص السحر والجن . وليس أطرف من أن يستولي علاء الدين على مصباحه السحري فيخرج له العفريت يلبي رغباته . وهذه الرغبات لا تتعدى مفاهيم مألوفة لدينا بولغ في تضخيمها . فهو ينقله من مكان إلى آخر بسرعة خارقة لا أظن أنها تضاهي سرعة الطائفة النفاثة . وهو يحضر له من الأكل ما لذ وطاب ، أو من الملابس ما خفف حملاه وغلا ثمنه ، وهذه كلها أشياء تيسر لكثير من الناس ( عدا الكتاب والقارئ على ما أظن ) . ولكننا إذا نظرنا إلى هذه الأمور من وجهة النظر العلمية الصحيحة وجدنا أنها كلها سخيف وهراء ، لا أساس لها من الصحة ، نهر لها الأكثاف استخفافاً

أما إذا جاء أينشتاين قائلاً إنك أيها القارئ يمكن أن تنقلب كذلك أو جزء منك إلى زمان ، فنقول له : « أبدعت إنك لعبقري تستحق التصفيق » . وتأخذ نصفك له حتى تنهراً أيدينا . ونقول لبعضنا البعض ( أو على الأقل ، فإن العلماء الذين يفهمون هذه الأمور أكثر مني ومنك ، يقولون لبعضهم البعض ) : « هذا كلام علمي يجب التصفيق لقائله »

وأنت أيها القارئ السعيد ( وأخاطبك الآن بوصفك عالماً ) استكثرت على الجنّي أن ينقل علاء الدين من مكان إلى آخر بسرعة لا تقول القصة فيها أنها تتجاوز سرعة الطائفة النفاثة ، ولم تصدق القصة نظراً لشكرك العلمي العميق . فاستمع الآن إلى أينشتاين وهو يحوّلك إلى زمان . وأنت مصدقه طبعاً !!!

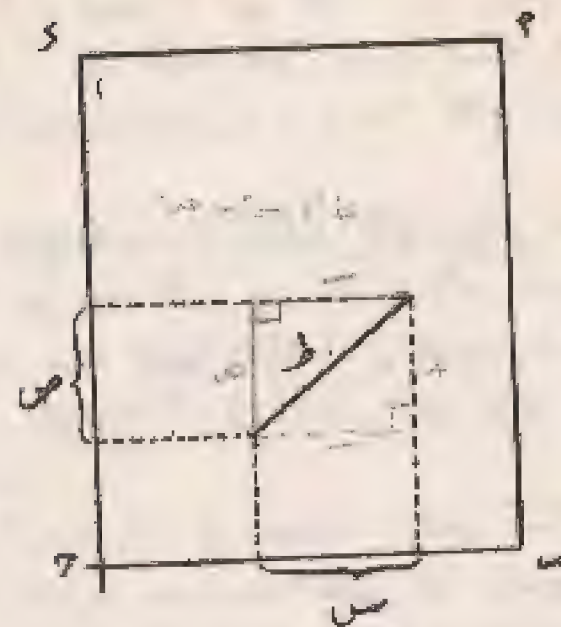
ويجب أن أستذكرك وأقول إن باستطاعة أينشتاين أيضاً أن يحوّل زمانك فيجعل جزءاً منك ، وقد يتساءل القارئ هل يزيد بدأ أم رجلاً أم دماغاً ، وأظنه سيفضل الأخير لكي يعرض ما تطاير من الدماغ أثناء قراءة نظريته .

ولنرجع الآن ، قليلاً ، إلى الرسومات البيانية .

لنفرض أن لدينا عالماً مكوناً من بعدين فقط ، وهذا العالم هو المستطيل أ ب ج د الظاهر في الشكل ( ٢١ ) . طوله أ ب وعرضه ب ح . وفي هذا العالم جسم مستطيل طوله ط قدماً . والمطلوب منا الآن أن نعرف مدى امتداد الجسم ( ط ) في ناحية الطول ، ومدى امتداده في ناحية العرض ، أي مدى امتداده في بعدي العالم الذي هو كائن فيه . إننا نفرض عندئذ رسماً بيانياً من الشكل نفسه ، فيه ب ح الأحداث الأفقي وفيه د ح الأحداث العمودي . وننزل مساقط من طرفي الجسم ط على الأحداثين ، فيكون امتداده في ناحية العرض س وامتداده في ناحية الطول ص ( كما هو ظاهر في شكل ٢١ ) . وبحسب نظرية فيثاغورس



يكون مربع ط مساوياً لمجموع مربع ص مع مربع ص



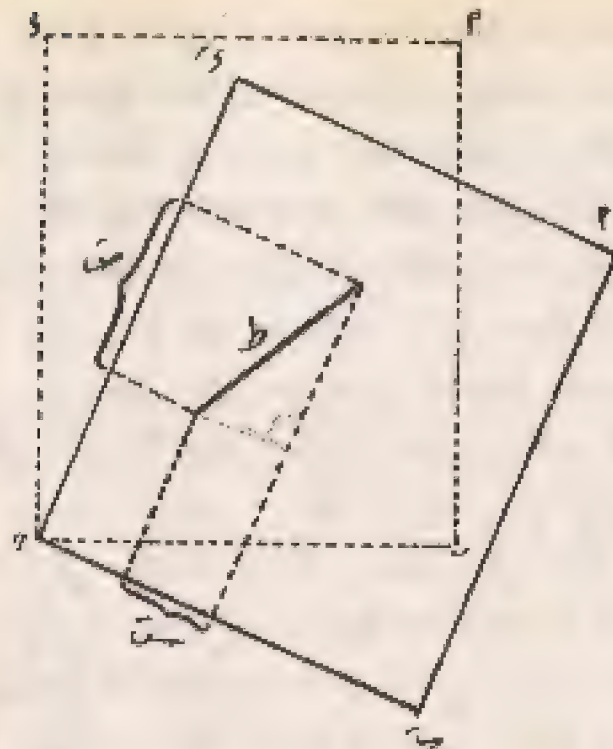
(شكل ٢١)

مساقط جسم في عالم ذي بعدين

$$\text{أي } ط^2 = ص^2 + ص^2$$

ولنفرض الآن أن احداثي الرسم البياني قد مالا بمقدار زاوية معينة كما في شكل (٢٢) ، بحيث أصبح العالم ذو البعدين  $أ ب$   $ح د$  بدلاً من  $أ ب$   $ح د$  . فسيكون امتداد ط في ناحية العرض  $ص$  وفي ناحية الطول  $ص$  .

ونجد أيضاً أن :



(شكل ٢٢)

انحراف احداثي الرسم البياني

$$ط^2 = ص^2 + ص^2$$

وهي كما عرفنا  $ط^2 = ص^2 + ص^2$

أي أن مربعات مساقط ط في الرسم البياني لا يتغير مجموعها فهي دائماً تساوي مربع ط .

ويجب علينا ، في الواقع ، مما فهمناه من النظرية النسبية أن نعتبر أن الأبعاد المكانية والبعد الزمني بين حادثتين ما هي إلا مساقط للفاصل الزمني المكاني الأساسي بين الحادثتين .

وزيادة في إيضاح هذا المفهوم نذكر القارئ بالوقت الذي كان يجلس فيه في سوق الخضار وحركة لسانه عندما مدح زوجة أبيه ، والوقت الذي

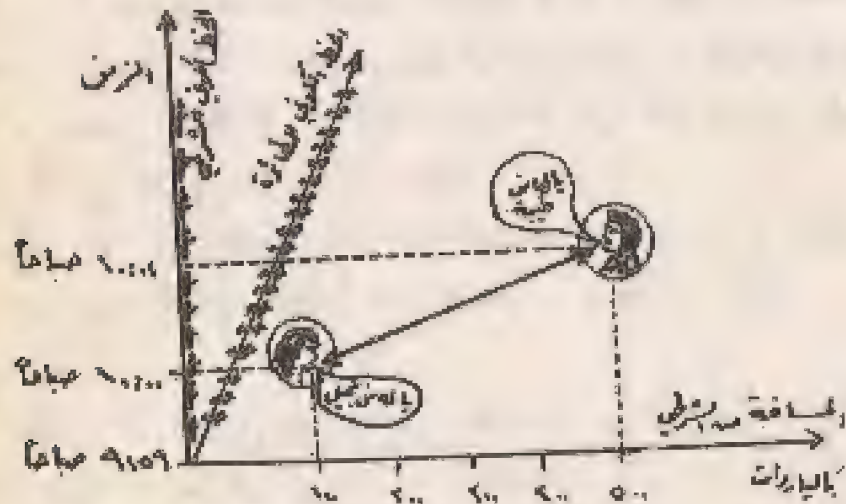


كانت تجلس فيه زوجة أبيه في نادي عمان وحركة لسانها عندما ذكرته  
 بغير الخير . إن هاتين الحادثتين تفصلهما عن بعضهما البعض فترة زمنية  
 مكانية ، عملنا لها حساباً فيما سبق ، بحسب تقديرنا نحن الذين نعيش على  
 سطح الأرض . وقد وجدنا بقياساتنا أن الفاصل الزمني كان دقيقة واحدة  
 من دقائق الزمن الجاري على سطح الكرة الأرضية . ووجدنا أن أحد  
 الأبعاد المسافية يبلغ ٣٠٠ يارد وهو البعد ما بين سوق الخضار والجامع  
 الحسيني الكبير ، وهذا الرقم هو بحسب معلوماتنا ومفاهيمنا عن طول  
 اليارد على سطح الكرة الأرضية . واليارد نفسه هو الذي قسنا به البعدين  
 الآخرين . وهذه المقاييس ، سواء ما كان منها لقياس الزمان أو  
 لقياس المكان ، هي مقاييسنا نحن الذين نعيش على سطح هذا الكوكب .  
 أما إنسان سائر في صاروخ ذي سرعة هائلة فإنه يجد قياسات مختلفة .  
 فقد تكون الياردات الثلاثمائة عنده مئتين وخمسين ياردة أو أقل من ذلك  
 حسب السرعة التي يسير بها الصاروخ كما درسنا ذلك في قانون انكماش  
 الطول . والدقيقة التي حسبناها قد يجدها هذا الإنسان أكثر من ذلك ،  
 حسب قانون تباطؤ الزمن مع السرعة . وهكذا فإن هذا الإنسان يجد  
 قياسات زمنية ومكانية غير التي وجدناها في قياساتنا نحن .  
 وإنسان غيره في كوكب آخر أو في صاروخ آخر أو في مجموعة  
 شمسية أخرى يجد قياسات زمنية ومكانية ( تفصل بين الحادثتين نفسيهما )  
 خاصة به . وقياساته هذه تعتمد على سرعته النسبية بالنسبة للحادثتين .  
 وهكذا .

نكل إنسان مارة بسرعة تختلف عن الآخر بالنسبة للحادثتين سيوجد  
 للأبعاد الأربعة قياسات خاصة به ، وكلها صحيحة بالنسبة للمشاهد  
 الذي قام بتسجيلها . وليس هناك إنسان يمكن أن نعتبر أن قياساته هي  
 القياسات المطلقة ، فكل القياسات هي بالنسبة لمن يشاهدها ، كما أصبحنا  
 نعرف الآن .

والواقع أن هناك حادثتين قد وقعتا ، في مثلنا السابق ، وليس لدينا  
 شك في وقوعهما . ولكن الأبعاد الزمانية والمكانية التي تفصل بينهما تختلف  
 بحسب حركة المشاهد بالنسبة لهما . إذن يمكن أن نعتبر أن كل مشاهد  
 ينظر إلى هذا الكون ضمن إطار خاص به ، وأن الأبعاد التي يسجلها  
 ما هي إلا مساقط هاتين الحادثتين على إحداثي الزمان والمكان في الرسم  
 البياني .

ولنضع هاتين الحادثتين في رسم بياني يكون فيه الأحداث العمودي دالاً  
 على الفاصل الزمني والأحداث الأفقي دالاً على الفاصل المكاني . ولترسم  
 الحادثتين . كما في شكل (٢٣) . ويكون الإحداثان عندئذ ، طبعاً ،



(شكل ٢٣)

رسم بياني لحادثتين

هما بالنسبة لنا نحن الواقفين على سطح الأرض ، سواء الأحداث الدال  
 على امتداد الزمن أو ذلك الذي يدل على امتداد المكان . أو ، بعبارة



أخرى ، يكون هذان الاحداثان مساقط للأبعاد الزمانية المكانية ضمن الإطار الخاص الذي نرى به الكون .

ولنفرض أن الذي يسجل وقوع هذه الحوادث هو شرطي واقف على ظهر بناية المختبر الحكومي ويبعد عن نادي عمان حوالي مئة ياردة ، وعنده من الآلات الدقيقة ما يسمع بها كلامك وكلام زوجة أبيك ، فيكون لخط الزمن في الرسم البياني هو الخط الكوني للشرطي ، وتراه في الشكل (٢٣) واقفاً قرب خطه الكوني ، رافعاً يده متعجباً ، لا أدري من كلامك أم من كلام زوجة أبيك أم منكماً معاً .

إن هذا الشرطي يسجل كلام زوجة أبيك الذي وقع على بعد مئة ياردة منه ، في تمام العاشرة صباحاً . يسجل كلامك الذي وقع على بعد ٥٠٠ ياردة منه في الساعة العاشرة والدقيقة الأولى . وهذان الحداثان هما حداثان ثابتان في الكون يمكن رسمهما في رسم بياني ، والوصل بينهما بخط كما هو ظاهر في الشكل ، وتكون القياسات هي مجرد مساقط لهما ضمن إطار الشرطي الذي ينظر به إلى الكون .

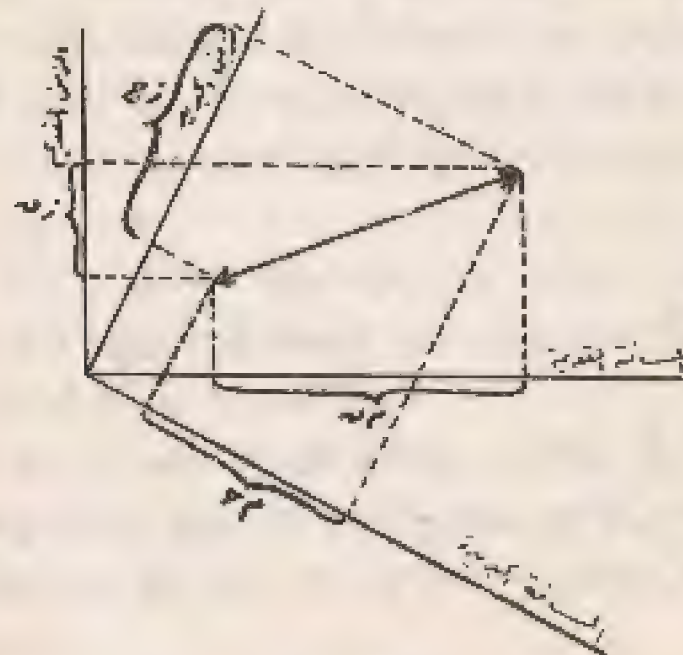
ولكن ألا يمكن بشكل من الاشكال أن نحرف الاحداث الزمني ؟ قد يكون الجواب محيراً غير منتظر . ويتساءل القارئ : وكيف نحرفه ؟

لنفرض أن الذي يسجل هاتين الحادثتين هو إنسان آخر راكب في طائرة بطيئة ، هيليكوبتر مثلاً ، وكان ماراً بالقرب من زوجة أبيك ، وسمعها بآلاته الدقيقة وهي تصفك بالبخل ، ثم سار وكان ماراً بقربك وسمعك تصفها بالطيبة . ستكون المسافة الفاصلة بينك وبينه في هذه الحالة أقل من ٥٠٠ يارد ( وهو الرقم الذي سجله الشرطي السابق ) . وسنضطر عندئذ أن ندير المحور العمودي ( الاحداث الزمني ) ، بحيث تقرب الطائرة اليك . والخط الذي نرسمه في الواقع هو الخط الكوني للطائرة . وعلى ذلك يمكن أن نقول : عندما نريد أن نرمس رسماً بيانياً للفاصل

الزمني المكاني بين حادثتين من مكان متحرك يجب علينا أن ندير محور الزمن بزاوية معينة ( ويعتمد مقدار الزاوية على مقدار سرعة المكان المتحرك ) وعلينا أن نترك محور المكان كما هو .

ومع أن هذه الحقيقة من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية هي الحقيقة المنطقية المعقولة التي لا مراء فيها ، إلا أنها تتنافى مع مفاهيمنا النسبية تنافياً شديداً . فنحن نعتبر أن العالم مكون من أربعة أبعاد وأن الزمن هو البعد الرابع ، إذن ، يجب أن يكون عمودياً على احداث المكان ( الاحداث الاقضي ) مهما كان الأمر ، سواء أخذنا قياساتنا ونحن واقفون أو كنساً نركب سيارة أو طائرة أو صاروخاً .

وعند هذه النقطة تختلف الفيزياء الكلاسيكية اختلافاً شديداً مع الفيزياء النسبية . وعلينا - ما دمتنا قد أصبحنا من علماء الفيزياء - أن



شكل (٢٤)

دوران الرسم البياني السابق



نرمي بالحقائق المنطقية المعقولة ( وهل فعلنا غير ذلك في كتابنا هذا ؟ )  
التي تنادي بها الفيزياء الكلاسيكية ، وأن ندير محور المكان لكي يصبح  
دائماً عمودياً على محور الزمان ، كما في شكل ( ٢٤ ) .

ولكن إذا كان انحراف محور الزمن يعني فيزيائياً أن المسافة ( البعد  
المكاني ) التي تفصل بين الحادثتين لها قيم مختلفة تتغير بحسب سرعة المشاهد  
فيالمثل ، إن إدارة محور المسافة يعني أن فترة الزمن التي تفصل بين الحادثتين  
لها قيم مختلفة تتغير بحسب سرعة المشاهد .

وعلى ذلك ، فإن الشرطي الواقف على ظهر بنائة مختبر الحكومة ، قد  
سجل فترة من الزمن بين الحادثتين تختلف عن الفترة الزمنية التي سجلها  
الراكب في الهليكوبتر . وفود أن نذكر القارئ مرة أخرى أن هذا الفرق  
في الزمن لا علاقة له إطلاقاً بنوع الساعة التي يحملها كل منهما  
أو لحراب فيها . فإننا نفرض دائماً في ابطالنا الذين نضرب بهم الامثال  
أنهم يحملون ساعات سحرية لا يأتيتها الباطل من بين عقاربها ولا من  
خلفها . إنما يختلف الزمن لأنه بطبيعته يجري بمعدلات مختلفة تعتمد على  
سرعة الأجسام التي يجري فيها . والقارئ على علم بكل هذا من قانون  
تباطؤ الزمن مع السرعة .

على أية حال ، فإن هذا الفرق طفيف جداً ، يمكن إهماله إذا كنا  
نسير في سيارة أو طائرة ، ولا نستطيع ادراكه حتى بأدق الأجهزة ، ولا  
يظهر أثره واضحاً إلا في السرعات الخارقة .

وخلاصة القول : ان حادثتين إذا وقعتا في هذا الكون وأردنا أن نقيس  
الفاصل الزماني المكاني بينهما ، فإننا في الواقع نقيس مسافتين هاتين الحادثتين  
بالنسبة للإطار الذي نرى الكون منه . وهذا الإطار يختلف دائماً بحسب  
حركة المشاهد .

فماذا نستنتج إذن من هذا الحديث كله ؟

نرى من الشكل ( ٢٤ ) أننا إذا نظرنا إلى الفترة الزمانية المكانية بين

الحادثتين ضمن إطار معين ، فإننا نجد أن مربع المسقط على محور المكان  
ومربع المسقط على محور الزمان يساويان دائماً مربع الفترة الزمانية المكانية  
بين الحادثتين .

وإذا نظرنا إلى الفترة نفسها ضمن إطار آخر دار فيه محور الزمن ،  
فسنجد عندئذ أن المسقط على المحور المكاني قد قصر ، لأن المسافة  
التي أصبحنا نسجلها قد قصرت . فيكون مربع هذا المسقط أقل من  
مربع المسقط المائل عندما كنا ننظر إلى الفترة نفسها ضمن إطار آخر .  
وحيث أن مربع المسقط على المحور المكاني ( أي مربع المسافة ) مع  
مربع المسقط الجديد على محور الزمن يساويان دائماً مربع الفترة الزمانية المكانية  
بين الحادثتين ، وهذه لا يحدث عليها أي تغيير ، إذن كان لا بد أن  
تكون هناك زيادة في مربع المسقط على محور الزمن ، لكي تعوض النقص  
الحاصل في مربع المسافة .

ولكي لا يصبح الكلام الغامض أرجو من القارئ أن يلقي نظرة أخرى  
على الشكل ( ٢٤ ) ويتمن فيه ، ولنسم كل مسقط باسمه ، فسقط  
الزمن القديم « ز ق » وسقط الزمن الجديد « ز ح » وسقط المسافة القديمة  
« م ق » وسقط المسافة الجديدة « م ح » .

فيكون : ( ز ق )<sup>٢</sup> + ( م ق )<sup>٢</sup> = الفترة الزمانية المكانية بين الحادثتين  
وكذلك : ( ز ح )<sup>٢</sup> + ( م ح )<sup>٢</sup> = الفترة الزمانية المكانية نفسها فهي  
لم تتغير .

$$\text{إذن : ( ز ق )}^2 + \text{( م ق )}^2 = \text{( ز ح )}^2 + \text{( م ح )}^2$$

ولكننا فهمنا فيما سلف أن ( م ح ) المسافة الجديدة قد قصرت . إذن  
يجب أن يكون الزمن الجديد قد طال بنسبة يعرض فيها عن النقص في  
المسافة .

أي بعبارة أخرى ، فإن ما فقدناه من المسافة قد تعوض لدينا في الزمن .  
أي أن المسافة تنقلب إلى زمن !



وهكذا فلإننا نرى أن آينشتاين يشتغل فيما ما يشتغله الحاي . فيقف وفي يده العصا السحرية أمام المنضدة وعليها ساعة . ويمسك قبعته أمامنا وبقبعتها ليدلنا على أنها فارغة ويدبرها لنا لنرى بأم أعيننا ذلك ونؤكد منه ، ثم يمسك بالساعة ويضعها في القبة ويقول : « جلا ، جلا ، جلا ، يا شمهورش يا مركان ، عيروض يا ملوك الجان ، وانت أيها الملك الأحمر ، احضر إلى هذا المكان ، وببركة خاتم سليمان اقلب الزمان إلى مكان » ثم يخرج يده من داخل القبة وبدلاً من أن يخرج الساعة التي وضعها نجده يخرج مسطرة !

وبعيد الفصل نفسه مرة أخرى ، فيدخل المسطرة ويخرجها ساعة ... وهكذا ...

والفرق بين الحاي وآينشتاين أن الأول تصفّق له الجماهير الجاهلة وينظر إليه العلماء شراً ، أما الثاني فيصفّق له العلماء ، وتتبعهم الجماهير الجاهلة تصفّق دون أن تدري شيئاً .

ويجب علينا الآن أن نجيب على سؤال سأله القارئ عندما بدأنا هذا الفصل . فقد قلنا أن باستطاعة آينشتاين أن يحول زمان القارئ فيجعل له جزءاً منه ، ويستعمل إن كان سيزيد بدلاً أم رجلاً أم دماغاً ، وقد بفضل الأخير لتعريض ما تطاير من الدماغ أثناء قراءة نظريته .

الواقع أن القارئ السعيد سيبقى كما هو ، لن يتغير فيه شيء . وإنما إذا كان هناك مشاهد ماراً بسرعة خارقة بالنسبة له ، فإنه سيجده منكماشاً صافياً نراه به نحن ، وهذا الانكماش سيعوض عنه لدى المشاهد بالزمن ، فسيرى أن زمن القارئ قد تباطأ . وكلما زاد الانكماش كلما تباطأ الزمن .

وأظن الآن أن الوقت قد حان لرجوع إلى سؤال كنا قد وجهناه إلى القارئ عندما كنا نبحث في قانون تباطؤ الزمن مع السرعة وعندما تطرقنا إلى موضوع السير بسرعة الضوء . وقد ذكرنا الفتاة الجاهلة التي تسبق

الضوء في سيرها والتي تركتنا اليوم ثم عادت البارحة . وسيلزم القارئ أن التسلسل المنطقي الذي تتبع به الشاعر تباطؤ الزمن كلما زادت السرعة ، نعم على الشاعر أن يرجع الزمن القهقري فيما لو زادت السرعة عن سرعة الضوء .

ولكننا قلنا قبلاً أن السير بسرعة الضوء هو أمر مستحيل استحالة قطعية في النظرية النسبية . ومع ذلك ، فإذا شئنا أن نتتبع هذه القضية من الناحية العلمية وفق النظرية النسبية ، فلإننا نصل إلى نتيجة هي أغرب من تلك التي توصل إليها الشاعر .

إذا شئنا أن ندرس هذه الفتاة الجاهلة عندما تسير بأسرع من الضوء ، فعلينا عندئذ أن ندير محور الزمن أكثر من زاوية قائمة في الرسم البياني شكل (٢٤) . وسنجد آنذاك أن طولها قد أصبح كله زمناً ، وأن زمنها قد أصبح طولاً ، أي أننا عندئذ نبدأ نرى الزمان مكاناً والمكان زمناً ! هل تحب أيها القارئ أن يصبح شكلك هو زمانك ، وزمانك هو شكلك ؟ إذا كنت وسم الطلعة وكان زمانك جائراً عليك ، فلا شك أنك تفضل أن تسير بأسرع من الضوء ، لكي يصبح زمانك حلاً وسياً ، ولكن شكلك عندئذ سيكون ظالماً مخيفاً .

أما إذا كنت مثلي تشكو من التاجيتين ، فابق على ما أنت عليه . والحالة الوحيدة التي ستفق عليها في تمنياتنا أنا وانت ، هي أن نرسل ديناراً ذهبياً له من العمر ألف سنة أو يزيد ، لكي يسير بأسرع من الضوء . فسنجد أن عمره سيتحول كله إلى دنائير لا أظن أحداً يستطيع إحصاء عددها غير آينشتاين نفسه . ولكنها دنائير مطبوعة حديثاً . ولا أدري إذا كنت ستقبلها عندئذ . فهناك قوم لا يحبون إلا الدنانير المعتقة .

ولكن ما بالنا يشتط بنا الحديث فتورد أمثالا على أشياء تسير بأسرع من الضوء ؟ إن في الغرابة التي نجدها في النظرية النسبية كفاية لنا . ففيها



تبدو النتائج العلمية الصحيحة - إذا نظرنا إليها للوهلة الأولى - غريبة جداً . بيد أن غرابة هذه النتائج ، على الرغم مما يستلزمها من اثباتات علمية ، تجعلنا نحس بيننا وبين أنفسنا بأننا قد جادنا عن جادة الصواب ، وأن بنا شبه مس من جنون فأبغنا لأنفسنا أن نتبعها ونتخطاها إلى ما تقول النظرية بأنه مستحيل ، ونحملها ما هي براء منه .  
فلنصل على النبي ، ولنرجع إلى المثل الذي يضربه آينشتاين بنفسه على تحويل الزمان إلى مكان والمكان إلى زمان .

لنفرض أن رجلاً مسافراً يجلس في قطار متحرك ، في عربة الطعام أمام إحدى الموائد قرب النافذة . وهناك خادِم المطعم يقف في طرف العربة في انتظار الأوامر ، إنك لو سألت الخادِم عن المكان الذي أكل فيه الرجل طبق الحساء والمكان الذي أكل فيه الفاكهة ، بعد أن أنهى الطعام الرئيسي ، لقال لك إنه أكلهما في المكان نفسه . لكن لنفرض أن القطار مرّ عن أحد العمال الواقفين لصيانة السكة الحديدية ورآه وهو يشرب الحساء واستمر القطار في سيره ، وبعد أن قطع عدداً من الأميال ، مرّ عن عامل آخر ، ورأى الرجل وهو يأكل التفاحة ، فسيكون الحادثان - شرب طبق الحساء وأكل التفاحة قد وقعا في مكانين متباعدين .

وعلى ذلك يمكن أن نقول : إذا وقع حادثان في المكان نفسه لكن في لحظتين مختلفتين من وجهة نظر مشاهد ، فيمكن اعتبارهما أنهما قد وقعا في مكانين مختلفين إذا نظر إليهما مشاهد آخر في حالة حركية أخرى .

ومن حيث التكافؤ المكاني الزمني المطلوب يمكن أن نضع الجملة نفسها في قالب آخر ، فنعرض كلمة مكان بكلمة لحظة والعكس . فتصبح الجملة كما يلي :

إذا وقع حادثان في اللحظة نفسها ، لكن في مكانين مختلفين من وجهة نظر مشاهد ، فيمكن اعتبارهما أنهما وقعا في لحظتين مختلفتين إذا نظر

إليهما مشاهد آخر في حالة حركية أخرى .

ونطبقاً لهذه الجملة نفرض أن هناك رجلين في عربة الطعام ، كل واحد يجلس في طرف منها ، وكان الخادِم واقفاً ينظر إليهما معاً ، فوجد كل رجل منهما يخرج لفافة التبغ ويشعلها في نفس اللحظة التي أشعل فيها الآخر لفافته . فسيكون الخادِم على استعداد لأن يقسم اليمين بأن الرجلين أشعلا اللفافتين في اللحظة نفسها . ولكن عاملاً واقعياً على الأرض ناظراً العربّة من خلال النوافذ ، سيرى أن أحدهما قد أشعل لفافته قبل الآخر ، وهو على استعداد لأن يقسم اليمين على ذلك . وكلاهما - الخادِم والعامل - لا بحث بيمينه .

وعلى ذلك : إذا وقعت حادثتان في اللحظة نفسها من وجهة نظر مشاهد ، فإن هاتين الحادثتين - من وجهة نظر مشاهد آخر ، في حالة حركية أخرى ، ستكونان منفصلتين عن بعضهما البعض بفترة زمنية معينة .

إن هذه هي النتائج الحتمية التي لا مفر منها في النظرية النسبية التي نرى أن الكون مكون من أربعة أبعاد ، وأن الزمان والمكان ما هما إلا مساقط على احداثي الرسم البياني نراهما ضمن إطار خاص بنا .

\*\*\*

بهذا أيها القارئ نختم حديثنا عن النظرية النسبية الخاصة . كنا قبل أن نقرأ هذا الحديث ، إذا سمعنا إنساناً يهدد إنساناً آخر ويقول له : « سوف أخلط طولك في عرضك » نجد أن التهديد أمر مبالغ فيه ، ونخشى أن يكون الكلام موجهاً إلينا - لا سمح الله . ولكننا إذا بحثنا كلمات التهديد من ناحية علمية ، نرى أن هذا الإنسان يجرؤ على خلط بعدين معاً : الطول في العرض . إنه إنسان جريء جداً ، نخشاه في الواقع إذا كنا نعرف أنه مبيض تهديده موضع التنفيذ ، ونحاول أن نبعد عنه ما أمكننا الاعتماد ، وننظر إليه نظرتنا إلى



الجاهل الذي يمتحن الأبعاد ولا يحترمها .  
أما الآن ، فإن السيد أينشتاين يأتينا من ناحية أخرى ، ويعسك بما  
ملك من معلومات فيزيائية سابقة راسخة ، ويلقيها على الأرض ، ويتسلم  
لا بعدين فقط ولا ثلاثة أبعاد ، إنما يتسلم أبعادنا كلها - طولنا وعرضنا  
وارتفاعنا ، وزماننا . ويأخذ يعجن فيها عجناً ويخلطها في بعضها خلطاً  
عظماً ويعصرها ويلوبها كيف شاء ، ونحن نصفق له مبتسمين ، ونقول  
له « شكراً » .

شكراً يا سيد أينشتاين !

## النظرية النسبية العامة

### الفضاء



## استعداد

إذا كنت أيها القارئ السعيد قد تنفست الصعداء من وعشاء سافرتنا خلال دروب النظرية النسبية الخاصة ، ومالكها الوعرة ، وإذا كنت قد استعدت ما فقد منك من ائزان وهدوء أعصاب ، فأرجو منك الآن أن تستعد لسفرة مماثلة أخرى ، أقصر شوطاً ولا تقل عنها متعة وغرابة .

إن السيد آينشتاين لا يريد أن يتعبنا كثيراً هذه المرة ، إنما سيحاول أن يثبت لنا بعض الأمور البسيطة جداً !! منها أنه لا توجد جاذبية ! ولا يوجد خط مستقيم ! وأن الخط المستقيم ليس أقصر مسافة ما بين نقطتين ! وأن الفضاء محدب ! والزمان محدب ... نعم ، الزمان محدب ! ولن نحاول أن يثبت أن مفاهيمنا قد تحديت بعد قراءة نظريته ، لأن هذا الأمر سيكون من البدهية بمكان عظيم بحيث لا يحتاج إلى اثبات .

وأظن أن هذه الأمور التي سيثبتها أصبحت سهلة بسيطة بالنسبة لك الآن ، أيها القارئ اللبيب ، وتكاد تكون على علم بها قبل قراءتها ، لسهولة النسبة للعالم العلامة الذي أصبحته بعد فهمك لما سلف . وما حديتي فيها إلا حباً في الثروة معك . والثروة هي إحدى متع الحياة التي من الله بها على عباده ، وآثر بها الجنس الطيف كله ، ونفراً غير



قليل من الجنس الخشن . فهنيئاً لهؤلاء وأولئك بهذه المتعة التي تحمل مميزات عديدة أهمها أنها تزيج عن الإنسان عب التفكير في أي شيء ، لا سيما في مثل مواضيع هذا الكتاب .  
ولكن مالتنا أخذنا نبتعد عن موضوع الحديث ؟ ولنتكلم عن الفضاء الذي يملؤه الجنس اللطيف برثرته .

### الفضاء :

كلنا يعرف ما هو الفضاء ، وإن كان من الصعب أن نجد له تعريفاً . فالأرض والكواكب الأخرى والشمس والنجوم الأخرى تسبح في الفضاء . وقد كان من السهل علينا أن نعرفه قبل دراسة النظرية النسبية الخاصة بقولنا إنه الحيز الموجود في هذا الكون والذي يملؤه الأثير وتسبح فيه الأجرام السماوية . أما الآن ، وبعد أن اسقطنا الأثير من حسابنا فيمكن أن نقول إنه الحيز الذي تسبح في بعض بقاع منه أجرام سماوية . أما ما بين هذه الأجرام السماوية فلم يترك لنا أينشتاين شيئاً يملؤه به ، لذلك يجب علينا أن نقول إنه فارغ في هذه الأنحاء إلا من بعض ذرات العناصر هنا وهناك على مسافات متباعدة .

ويقول نيوتن أبو الفيزياء الكلاسيكية في هذا الموضوع ما يلي : « إن الفضاء المطلق ، بطبيعته الذاتية ، ودون علاقة مع أي شيء خارجي ، يظل دائماً متشابهاً غير متحرك » ، وهذا هو التعريف المنطقي المعقول الذي سارت على مفهومه الفيزياء مدة قرنين ونصف قرن من الزمن .

على أية حال ، أكرر فأقول ، إن موضوع الحديث هو ذلك الحيز الذي يسمونه الفضاء ، سواء كان فارغاً لا شيء فيه ، أو كان يملؤه كاتب هذه السطور أو قارئها ، أو كانت تملؤه الكرة الأرضية أو الشمس أو أي

شيء آخر .

وبناء على ذلك ، فأنت أيها القارئ تجلس الآن في الفضاء ، وتحتل جزءاً منه ، والهواء الذي يحيط بك يحتل جزءاً آخر يحيط بجزءك ... وهكذا ...

وباستطاعتك أن تقوم وتمشي في هذا الفضاء إلى اليمين وإلى الشمال وإلى الامام وإلى الخلف . كما تستطيع أن تصعد إلى أعلى إذا كنت مثلي تسكن في طابق علوي ، وتستطيع أن تنزل إلى أسفل ، بعد أن تنتهي زيارتك لصديق مثلي يسكن في طابق علوي وتهبط السلم مودعاً بحفظ الله ورعايته . من هذا يتبين لك أيها القارئ ان الفضاء كرم جداً ، متسامح جداً ، إذ يعطيك حرية التجول فيه في أي اتجاه شئت .

والفضاء ، كما يقول نيوتن ، متشابه غير متحرك . ويقصد بالمشابه هنا أنه منسجم متناسق في جميع نواحيه . أي أننا يجب أن نحمل عنه الفكرة التي نحملها عن الماء الصافي في كأس شفاف . إن أعيننا المجردة لا ترى في هذا الماء إلا تناسقاً وانسجاماً في كل نواحيه ، ولن نستطيع أن نقول إن الماء في بقعة ما أكثر منه في بقعة أخرى .

ومن البديهي أيضاً ، بناء على ذلك ، أن يكون الخط المستقيم في هذا الفضاء هو أقصر مسافة ما بين نقطتين . وهذا الكلام هو إحدى بدسيات هندسة إقليدس التي تعلمناها في المدرسة . فأقصر مسافة مثلاً بين الكرة الأرضية وبين النجم القطبي الشمالي هو الخط المستقيم الذي يصل بينهما . وبما أن المعروف بدهاة أيضاً أن الضوء يسير في خط مستقيم ، فتكون أقصر مسافة بيننا وبين النجم المذكور هي الخط المستقيم الذي يسير فيه ضوء هذا النجم حتى يصل الأرض التي حيرها أينشتاين بنظريته .

وبناء على ذلك أيضاً ، إذا مرّ في خلدنا يوماً أن ننشئ مثلاً وهمياً بين الشمس والنجم القطبي والشعري الهائية ( أي بين ثلاثة نجوم ) ،



فسيكون هذا المثلث كأي مثلث آخر في هندسة اقليدس : ذا ثلاثة رؤوس ، ( كل نجمة في رأس ) ، وذا ثلاثة اضلاع ، هي الخطوط التي تصل ما بين هذه النجوم الثلاثة ، وسيكون مجموع زوايا المثلث قائمتين أي ١٨٠° .

أظن أن هذا الكلام يدهي معقول منطقي سليم لا غبار عليه ، ولا مجال للطعن فيه إطلاقاً ، إذ لا تبدو لنا فيه ثغرة نطعن فيها . هل تشك في ذلك أيها القارئ ؟  
إني أعيدك أن تفعل .

### الابعاد مرة أخرى :

يبدو أن الأبعاد قد خلقت فينا عقدة نفسية بعد قراءتنا للنظرية النسبية . فلا نكاد نترك الحديث عنها حتى نجد أننا قد عدنا إليها مرة أخرى .

من السهل أن نتصور عالماً ببعد واحد فقط . وسيكون هذا العالم مجرد خط لا أكثر ولا أقل . وستكون من خصائص هذا العالم ذي البعد الواحد أننا إذا أردنا أن نحدد نقطة عليه فأننا نكتفي بذكر رقم واحد يدل على بعد هذه النقطة عن أحد أطرافه . وقد يكون هذا العالم مستقيماً أو منحنيّاً حسب الخط الذي نرسمه .

وبهذا المنطق يمكن أن نقول إن النقطة الهندسية هي عالم لا أبعاد له ، أو أن كل بعد من أبعاده يساوي صفراً . إذ لا يمكن أن يوجد موضعان مختلفان ضمن نقطة هندسية .

وبالمثل ، فإن السطوح ، سواء كانت مستوية أو محدبة هي عوالم من بعدين . ويمكن تعيين أي موضع عليها برقمين . ومن السهل أن نتصورها محدبة أو مستوية . فسطح الكرة محدب ، وسطح الورقة مستوي ، وإذا

شدت أن تحدبه فذلك باستطاعتك ، وأنت تفعل ذلك عندما تلوي الورقة لتقليبها .

وأنت وأنا والعالم الذي نعيش فيه والبيت الذي تسكنه والكوخ الذي يسكنه اللاجئ ، والتفود التي تحملها في جيبيك ، وآينشتاين نفسه قبل أن يموت ، وعظامه الآن في قبره — كل هذه الأشياء مكونة من ابعاد ثلاثة حسب رأي الفيزيائيين الكلاسيكيين .

ومن المفروض أن تكون مفاهيمنا — بما في ذلك المفاهيم الغريبة المستهجنة — هي مفاهيم ذات ابعاد ثلاثة . أي أن الأشياء التي نفكر فيها ونفكر فيها من قلب الله عقولهم هي أشياء ذات ابعاد ثلاثة .

ومن السهل علينا ، إذا ما أجهدنا أنفسنا بعض الشيء ، أن نحدد أي نقطة في عالمنا بأرقام ثلاثة فقط هي الطول والعرض والارتفاع .

ومن السهل علينا أيضاً — نحن أصحاب المفاهيم ذات الأبعاد الثلاثة — أن نتصور عالم البعد الواحد المكون من خط واحد ، وأن نحدد نقطة عليه برقم واحد وأن نحنيه ونجعله محدباً .

وكذلك من السهل علينا أيضاً ، أن نتصور السطح — عالم البعدين — وأن نحدد عليه نقطة برقمين وأن نحنيه ونجعله سطحاً ملتوياً .

والسبب في هذه السهولة هو أننا ننظر إلى عالم البعد الواحد وإلى عالم البعدين من الخارج . أي أننا لا نكون داخل هذه العوالم عندما ندرسها أو نحاول أن نحكم عليها .

ولكننا عندما نحاول أن نبحث في عالمنا نجد أن في الأمر بعض الصعوبة لتحديد النقطة فيه يحتاج إلى أرقام ثلاثة ويحتاج إلى استعمال نظرية فيثاغورس مرتين ، ويحتاج إلى بذل تفكير وهذا ما لا يتيسر لكل إنسان . على أية حال فهو مثير للفضول وهو ليس من الصعوبة بمكان .

ونستطيع أن نتصور أو نرى بأعيننا تحدب جسم ذي ابعاد ثلاثة ،



إذا كان هذا الجسم صغيراً بحيث يقع ضمن مجال النظر . فمن المعقول أن نقول أن ظهري وظهرك قد تحدا من كثرة المصوم ومن غرابة المنطق الذي نسمعه كل يوم . ولما كان ظهري وظهرك هما كناية عني وعنك ، كان معنى هذا الكلام أنك أنت أيها القارئ السعيد ، وأنا الكاتب المتواضع ، قد تحدنا . وبما أننا كائنات ذات أبعاد ثلاثة ، فنحن إذن مثل صالح على تحديب الشيء ذي الثلاثة أبعاد .

أما إذا حاولنا أن ننظر إلى شيء ضخم جداً كالفضاء مثلاً ، فمن الصعب علينا أن نتصور تحديه ، إلا إذا مططنا تخيلنا مطباً شديداً بعد جهد جهيد .

والسبب في هذه الصعوبة في الواقع هو أننا ننظر إلى الفضاء من الداخل لأننا نعيش فيه .

ومع كل ما توصلنا إليه من صعوبة ، فلا يزال هذا دون الذي ينبغي آينشتاين الوصول إليه . فلا يغرب عن بال القارئ أننا لا نزال نتكلم في عالم الأبعاد الثلاثة . أما عالم آينشتاين ، وفضاء آينشتاين فهو من أربعة أبعاد .

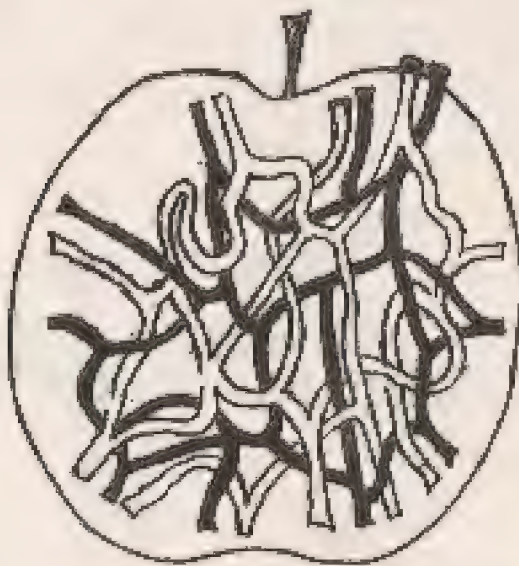
ولكن قبل أن نصل إلى ذلك ، دعنا نبحث بعض خصائص الفضاء ، فلعل المامنا به يزداد قليلاً .

### خصائص غريبة للفضاء :

إن نظرنا إلى الفضاء من الداخل هي التي تخلق صعوبة تصوره . ولو استطعنا بشكل من الأشكال أن نجلس خارجه وندرسه ونفحصه فإن الأمر علينا ووجدناه بسيطاً .

لكن دعنا نتغلب على هذه الصعوبة ببعض الرياضة العقلية التي يعرفها بها الأستاذ جورج جامو على خصائص الفضاء .

لنتصور أننا نجلس في غرفة شكلها شكل كرة كاملة الاستدارة لا منفذ فيها . سيكون الفضاء داخل الغرفة يحمل الخصائص التالية : إنه فضاء ذو ثلاثة أبعاد ، ولن نجد له حداً يبدأ منه أو ينتهي إليه ، فقد فرضنا أن الغرفة كاملة الاستدارة ، وعلى ذلك فهو غير محدود . ونستطيع أن نحسب حجمه إذا ما عرفنا قطر الكرة ، وعلى ذلك فهو متناهي الحجم . ولتأخذ مثلاً آخر ، لنتصور أن لدينا تفاحة ، والتفاح مثل طيب للأكل والشم وضرب الأمثال . ولسوء حظنا جاءت دودتان ووقفتا على سطحها واخترقتاها في نقطتين متقاربتين . وأخذت كل واحدة منهما تشق لها طريقاً متعرجاً داخل التفاحة . وكانت الدودتان من نوعين مختلفين : إحداهما سوداء اللون والأخرى بيضاوية . وكانتا على كراهية شديدة لبعضهما البعض ، كما لو كانت إحداهما زوجة أب الأخرى ، فأخذت كل واحدة منهما طريقاً مستقلاً داخل التفاحة تميل فيه وتخرج كما شاء لها



( شكل ٢٥ )

الفضاء داخل التفاحة المنخورة



الموى . إلا أنها لا تخرق طريق الأخرى ولا تنفذ إليه . واستمرت كل واحدة منهما في عملها هذا حتى أتتا على التفاحة ، ولم يبق منها إلا غشاء رقيق جداً هو الذي يفصل بين الطريقتين . ومع أن هذين الممرين متلاصقان جداً ويدوران ويتراكبان حول بعضهما البعض ، إلا أنه لا يمكن الوصول من أحدهما إلى الآخر إلا إذا وصلنا إلى فتحتيهما الخارجيتين على سطح التفاحة ( شكل ٢٥ ) .

ولنفرض الآن أن التفاحة ضخمة جداً والممرات الموجودة فيها ضخمة أيضاً بحيث تتسع لمروء الإنسان فيها . ولنفرض أن إنساناً دخل في الممرات التي حفرتها الدودة البيضاء . إنه يستطيع عندئذ أن يتجول في جميع أنحاء التفاحة ، يصعد ويهبط ويدور أينما شاء . ولكنه لا يستطيع أن ينفذ إلى الممرات الأخرى التي حفرتها الدودة السوداء إلا إذا خرج إلى سطح التفاحة ودخل من الفتحة الأخرى . ويجب أن نعتبر أن ملتقى الفتحتين الخارجيتين على سطح التفاحة لا يختلف عن أية نقطة أخرى من الفضاء داخل الممرات . فلو كانت التفاحة مربعة فإننا نستطيع أن ندفع بنقطة التقاء الفتحتين إلى داخلها ، وعندئذ فإن كثيراً من الممرات الموجودة في الناحية المقابلة سوف تبرز على السطح في الناحية الأخرى ، ولكونها مغلقة فإن تتصل بالفضاء الخارجي وإنما ستظهر بارزة على السطح فقط أمام أعيننا ، وستصبح نقطة التقاء الفتحتين السابقتين داخل التفاحة .

وبالإضافة إلى ذلك ، فمن المفروض أن السائر في هذه الممرات سيجد أمامه طريقاً حيث سار ، ولن يجد عائقاً أو سداً يقطع عليه سيره ، وإذا سار مدة طويلة من الزمن فسيجد نفسه في المحل الذي ابتداء سيره منه .

وإذا حاولنا أن ننظر إلى هذا الإنسان من الخارج ، فإننا نرى أنه يسير في الممرات حسب اتجاهاتها ، وسوف ندرك أنه سيصل إلى النقطة التي ابتداء سيره منها ، لأننا نلمح نمرجات الممرات أمام أعيننا . ولكن

الإنسان السائر داخل هذه الممرات ، وينظر إليها من الداخل ، فإنه لا يعرف إذا كان هناك وجود لشيء اسمه الخارج ، وسيظهر له الفضاء متناهي الحجم لكن لا حدود له .

وبالمثل أيها القارئ ، يمكن أن ننظر إلى فمك وأنفك ونعتبر فتحاتهما وما يتشعب منها إلى الجهاز الهضمي والجهاز التنفسي نوعاً من الممرات كذلك التي تحدثنا عنها في التفاحة . وعلى ذلك تكون فتحة القم وفتحتها الآن هي محل التقاء الأقبية الفضائية داخل جسمك بالفضاء الخارجي .

...

وقبل أن نسير شوطاً آخر في معرفة خصائص الفضاء ، يجب أن نعرف شيئاً عن اليمين والشمال .

دعنا نتخض زوجاً من القفازات . سنجد بالتمعن أن كل قفاز من الزوج يشبه القفاز الآخر في جميع قياساته وفي شكله وفي كل صفة من صفاته ، سوى صفة واحدة ، وهي أن أحدهما يمين والآخر شمال . وإذا ما حاولت أن تدخل يدك اليمنى في القفاز الشمال أو اليسرى في القفاز اليمين فإنك لن تفلح . إن هذا الفارق الوحيد بين اليمين والشمال



( شكل ٢٦ )

أشياء يمين وأشياء شمال



يجعل التمايز بينهما واضحاً جداً ، فيبقى اليمين دائماً يميناً والشمال شمالاً .  
( شكل ٢٦ ) .

وهناك أشياء كثيرة غير القفازات لها يمين ولها شمال ، كالحذاء ومقص الحياط ، ومقود السيارة ( أميركية أو إنكليزية ) ، وبعض القواقع الموجودة في الطبيعة .

ووجود الأشياء اليمين والأشياء الشمال أمر بداهي عند الناس . وهم يعتبرون أن الأساس الصحيح في تركيب الأشياء أن تكون على اليمين ، بدليل أنهم يصفون من لا يعجبهم عقله بقولهم : « عقله متركب شمالاً » .

على أية حال ، فإننا لا تفكر أن نطلب من البائع كأساً يميناً أو عصاً شمالاً أو مسطرة لها صفة من هذا القبيل ، لأن صفات اليمين والشمال لا توجد في الكؤوس ولا العصي ولا المساطر . وتتميز هذه الأشياء بأنها منتظمة الشكل على الجانبين . فإذا رسمت خطاً وهمياً يمر في منتصف الكأس ، فإنه سيقسم الكأس ( وهمياً طبعاً ) إلى قسمين متناظرين تمام التناظر . أما إذا رسمت خطاً وهمياً في قفاز في أي وضع أردت ومهما كان الخط الذي فكرت فيه ، فإنك تحصل على قسمين مختلفين ، ولن تجد خطاً يقسمه ليعطيك قسمين متناظرين مهما بلغت من العبقرية .

وإذا أصبحت أيها القارئ ، بعد كل هذا الحديث ، تعرف يمينك من شمالك ، فنحن بخير والحمد لله .

ولنفرض الآن أن لدينا عالماً من بعدين ( أي سطحاً فقط ) ، فيه إنسان ظل وحمار ظل ، كما هو ظاهر في الشكل ( ٢٧ ) .

والإنسان الظل يحمل في يده اليمنى عنقوداً من العنب . وقد اختار لنا الأستاذ جورج جامو العنب لأنه يظن أننا أئمننا من التفاح . وسيكون عنباً ظلاً طبعاً . ولن نستطيع الإنسان الظل أن يأكل من العنب الذي يحمله لأنه لا يستطيع أن يرفعه عن السطح ويضعه في فمه . ولو فعل



( شكل ٢٧ )

الإنسان الوجه والحمار اليمين

ذلك فإنه يتجاوز حدود عالم البعدين الذي فرضناه . وهذا الإنسان لن يستطيع أن يدير نفسه وسيبقى ناظراً إلينا بعينه الواسعتين ، مديراً وجهه تجاهنا دائماً . ونستطيع أن نسميه « الإنسان الوجه » . بينما نجد الحمار الظل الواقف بقربه متجهاً إلى اليمين ينظر إليه . وباستطاعة الحمار أن يتحرك على السطح ويأكل العنب . ونستطيع بناء على ذلك أن نسميه « الحمار اليمين » لأنه ينظر إلى الجهة اليمنى . ويمكن أن نرسم حميراً آخر شمالاً ينظر إلى الجهة اليسرى .

ولدينا الآن سؤال : هل يمكننا أن ندير اتجاه الحمار اليمين الظل الظاهر في الصورة ، بحيث يصبح حميراً شمالاً ؟ إننا نستطيع أن نفعل ذلك إذا أدركناه على سطح الورقة نصف دورة بحيث يأتي رأسه إلى الناحية اليسرى . ولكننا نجد عندئذ أن رجله قد أصبحتا متجهتين إلى أعلى في الفضاء الظل . وهذا غير لائق بمقام الحمار .

إذن ما هي الطريقة التي يمكن أن نجعل بها حميراً شمالاً ، مع حفظ مقامه وبقاء رجله إلى أسفل ؟ جرب أن تفكر في السؤال وحدك أيها القارئ وأن تجيب عليه قبل أن تتابع القراءة . هناك طريقة سهلة بسيطة ، هي أن تقص الحمار الظل عن الورقة ،



ونزعه عن السطح إلى أعلى ، وتدير وجهه إلى الناحية الأخرى ، ثم نلصقه محله .

ولكننا بهذه العملية نكون قد أدخلنا بعداً ثالثاً إلى العالم ذي البعدين الذي يعيش عليه الحمار الظل .

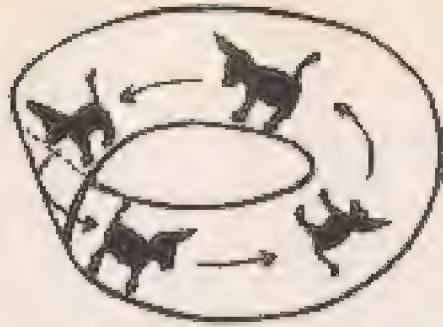
وسيرز لنا الآن السؤال التالي : هل يتحول الشيء اليمين إلى شيء شمال والشيء الشمال إلى شيء يمين إذا ما أضفنا بعداً إلى أبعاد العالم الذي يكون فيه ذلك الشيء وأدرياه بشكل مناسب ؟ أى إذا أخذنا قفازاً يميناً أمثلاً - والقفاز ذو ثلاثة أبعاد كما نعرف - ونقلناه إلى مكان ذي أربعة أبعاد ، وأدرياه هناك بطريقة مناسبة ( كما أدرياه الحمار الظل في البعد الثالث ) ، هل نستطيع أن نستعيده قفازاً شمالاً ؟

سؤال وجيه أيها القارئ ، أليس كذلك ؟

لكن مائنا ولكل هذه الأمور المعقدة ؟ ولماذا نخرج الحمار الظل اليمين من عالمه ذي البعدين حتى نجعله شمالاً ؟ إن هناك طريقة أخرى يمكن أن نقوم فيها بهذا العمل دون أن نجعله يترك السطح الذي هو فيه .

وفي سبيل ذلك يجب أن نختار سطحاً خاصاً غير السطح المستوي الذي مر ذكره . وهناك سطح ( أو عالم ذو بعدين ) يسمى سطح موبوس **Mobius** باسم العالم الرياضي الألماني الذي وصفه قبل قرن من الزمن . ويمكن أن نعمل سطحاً كهذا بأن تأني بقطعة مستطيلة من الورق ولصق طرفيها ببعضهما البعض على شكل حلقة . ولكن قبل أن نلصقهما نأوي أحد الاطراف مرة واحدة فقط ( شكل ٢٨ ) .

ولهذا السطح الحديد المتكون لدينا ، خصائص غريبة . فإذا أمسكنا بمقص وأخذنا نقص الورقة طولياً لكي نجعل من الحلقة حلقتين فسوف نفاجأ بمفاجأة غريبة لم نكن نتظرها . ستبقى الورقة متصلة ببعضها البعض ، وسينتج لنا حلقة واحدة قطرها أكبر من قطر الأول مرتين ، ولكن الحلقة



( شكل ٢٨ )

سطح موبوس

التي تحيط بها لها نصف عرض الحلقة الأولى

ومن خصائص هذا السطح أيضاً ، أن الحمار الظل إذا سار عليه وهو متجه إلى ناحية ( الشمال مثلاً في الصورة ) ، فإنه سيظهر من الناحية الأخرى متجهاً إلى الناحية المعاكسة ( اليمين في الصورة ) .

إذن يمكن أن نقول : إن الشيء اليمين إذا سار على سطح ملتوي ودار دورة معينة حول الالتواء فإنه سيصبح شمالاً والعكس بالعكس .

وإذا كان هذا الكلام ممكناً في سطح ذي بعدين ، فلماذا لا يكون الكلام نفسه صحيحاً في فضاء ذي ثلاثة أبعاد ؟ فإذا كان الفضاء ذو الثلاثة أبعاد ملتوياً بالشكل المناسب فيجب أن يصبح اليمين شمالاً والشمال يميناً إذا ما دار حول هذا الالتواء دورة كاملة .

وإذا كان ذلك كذلك ، فإن السائحين الذين سيدورون حول الكون في المستقبل سيعودون يستعملون أيديهم الشمال وستصبح قلوبهم في الناحية اليمنى من صدورهم ... وهكذا . وإن نتجنى عليهم إذا قلنا بأن عقولهم قد ركبّت شمالاً . أما صانعو الأحذية والقفازات فبدلاً من أن يصنعوا بضاعتهم يميناً وشمالاً فإنهم سيصنعون نوعاً واحداً فقط ، وهو أسهل لهم بلا شك ، ثم يقسمونه إلى نصفين ، ويرسلون النصف ليدور حول الكون



فيرجع ليطابق النصف الآخر .

عملية بسيطة جداً كما ترى ، أيتها القارئ .

ولكننا بطبيعتنا لا نستطيع أن نحكم على الفضاء بالسهولة التي نحكم بها على الحمار الظل وعلمه ذي البعدين . والسبب في ذلك كما قلنا من قبل أكثر من مرة ، هو أننا نعيش في الفضاء . ومن الصعب على المرء أن يحكم على شيء يعيش في وسطه وينظر إليه من الداخل ، بينما من السهل جداً أن يحكم عليه إذا كان ينظر إليه من الخارج .

وبعد ،

سيسأل القارئ : وما هي القائمة من كل هذا الحديث ؟ وما علاقة النظرية النسبية بذلك ؟

وسنجيب قائلين ، بأن القصد هو أن نسرّد بعض خصائص الفضاء ، ونعرّف القارئ به ، حتى إذا ما تكلمنا عنه بلغة آينشتاين فيما يلي ، يكون القارئ على بعض الإلمام بخصائص ما سنتكلم عنه .

## الفضاء في النسبية

إن الفضاء كما تحدثنا عنه حتى الآن ، هو الفضاء الذي يمكن أن نفهمه بمداركنا ذات الأبعاد الثلاثة على أنه مكون من أبعاد ثلاثة . وإذا كنا قد اقتنعنا بخاؤه من الأثير ، كما سبق القول عندما تحدثنا عن ذلك في النسبية الخاصة ، فسوف ندرك أنه فراغ خال مشحوم في جميع نواحيه ، إلا من أفلاك عديدة تسبح فيه هنا وهناك ، فتملاً الجزء الذي تحتله منه . وإذا كنا قد اطلعنا على بعض الأبحاث الكلاسيكية في الفضاء فسوف نستنتج أنه لا مثاء وسيكون عندئذ بالطبع لا حدود له ، وقد ندرك ذلك ببدهتنا ذات الأبعاد الثلاثة دون أن نكون قد قرأنا عنه شيئاً .

ولكن النظرية النسبية لا تقرنا على هذه المفاهيم . فهي بعد أن أفرغته من الأثير أخذت تضيف عليه صفات معينة هي في الواقع محور الحديث في النظرية النسبية العامة . وسوف نتحدث هنا عن هذه الصفات ، تاركين الحديث عن حدوده ونهايته وأطرافه للفصل الأخير الذي نتحدث فيه عن الكون .

والفضاء في النسبية مكون من أربعة أبعاد يعرفها القارئ الآن تمام المعرفة ، هي الأبعاد الأربعة التي تسير عليها فيزياء الكون كله بحسب



المفاهيم النسبية . ومن الخطأ كل الخطأ أن نعتبر الفضاء « لا شيئاً » ما بين الكواكب والنجوم . فلو كان « لا شيئاً » لما استطعنا أن نتكلم عن خصائصه وصفاته ما سوف نتكلم .

والنظرية النسبية العامة ترى في الفضاء رأياً قد يبدو لنا في منتهى الغرابة . فهي تقول بأن الفضاء غير منسجم ولا متشابه ولا متناسق كما يقول نيوتن أو كما يتوهم البعض ، إنما هو يتحذب حول الكتل الساكنة فيه . ولو كان في الامكان أن يوجد إنسان ذو عين بصيرة جداً ترى الفضاء ، إذن لأبصر أنه مليء بجسيمات عديدة جداً من الفضاء المتكاثف ( إن صح هذا التعبير ) ، وفي وسط كل جبهة من حبات الفضاء نجم أو كوكب . وأستطيع القارئ عذراً لاستعمال كلمة التكاثف في هذا الموضع . فمن المعروف أن الكثافة هي صفة من صفات المادة ، فأرجو أن لا يفهم من هذه الكلمة أن الفضاء مكون من مادة . على أية حال ، فإن أردنا تشبيهاً آخر ، فلنفرض أن الكون أمامنا كوعاء كبير جداً من الزجاج الشفاف مليء بالهلام ( الجلي Jelly ) . وقد فرضنا الوعاء من الزجاج الشفاف كي نستطيع أن نقف خارجه وننظر إليه من الخارج . فإذا ما نظرنا إلى الهلام في هذه الحالة ، فإننا لن نجد تشابهاً منسجماً في جميع اتجاهاته كطبق الهلام الذي يقدم لنا في المقاهي الراقية أو في بيوت الناس الذين يفضلون الهلام على الكثافة . وإنما سنجد ملئاً بمجسيبات الهلام المتكاثف هنا وهناك ، وفي وسط كل حبيبة جسم صغير جداً ( هو نجم أو كوكب في حالة الفضاء ) . وكأن الطباخ الذي طبخ الهلام لم يحسن إذابته في الماء قبل وضعه على النار .

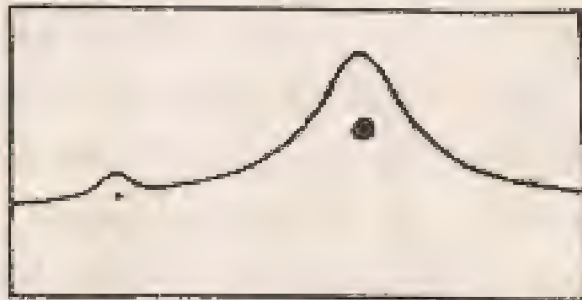
وبالإضافة إلى ذلك ، إذا أردنا أن نبحث تركيب هذه الحبيبات الهلامية فسوف نجد أنها أشد ما تكون كثافة في المركز ( النجم أو الكوكب ) ، وتخف كثافتها بالتدريج شيئاً فشيئاً كلما ابتعدنا عن المركز بحيث لن نجد حداً فاصلاً بينها وبين بقية الهلام الذي يملأ الوعاء ، ولن

نستطيع أن نقول عن نقطة معينة أنها تشكل الحد الفاصل بين الحبة المذكورة وبين الهلام .

وزيادة على ذلك ، فسوف نجد أن هذه الحبيبات أكبر حجماً وأكثر كثافة كلما زادت كتلة الجسم الموجودة في داخلها . أي أن النظرية النسبية العامة تقول بأن الفضاء يزداد تحديه حول الكتل الكبيرة . فهو يتحذب حول الشمس أكثر من تحديه حول الأرض ، ويتحذب حول الأرض أكثر من تحديه حول القمر ، وهكذا .

هذه هي الصورة التي يمكن أن نحملها عن الفضاء لو كان الفضاء مكوناً من مادة كالهلام الذي ضربناه مثلاً ، أي لو كان ذا ثلاثة أبعاد كالهلام .

وإذا ما شئنا أن نمثل الفضاء بعدين فقط ، فسوف نجد أنه سطح مكون من جبال تختلف في حجمها ، ولكنها كلها ملساء تنحدر سفوحها انحداراً تدريجياً حتى تلتقي بالسفح المحيط بها بحيث لا نجد حداً فاصلاً بين الجبل والسفح ( شكل ٢٩ ) .



( شكل ٢٩ )

تحدب سطح ذي بعدين

ولكن الفضاء في النسبية ليس من بعدين ولا من ثلاثة أبعاد ، وإنما هو من أربعة أبعاد .



وما دام الفضاء متحدباً ، كان علينا أن نفهم أنه متحدب بأبعاده الأربعة ، وأن تحدب هذه الأبعاد يزداد حول الكتل الكبيرة . وقد يدرك القارئ تحدب الأبعاد المكانية إذا سبح في خياله حيناً من الزمن . ولكن البعد الرابع الذي هو الزمن ، سيكون بطبيعة الحال متحدباً أيضاً . وعند أمثال هذا القول ما أظن القارئ بقادر على تصوّره مهما اشتط به الخيال ومهما طالت الفترة الزمانية المتحدبة التي سيصرفها في خياله هذا .

إننا نعرف أن الشعراء أصحاب الخيال قد فعلوا في الزمن المعجائب ، فأطالوه وقصّروه وأوقفوه مكانه ، ومنهم من أرجعه القهقري ، ومنهم من كساه شيئاً ومنهم من جعله يميل . ولكن أحداً منهم لم يحدّبه . والاصطلاح الأخير هو اصطلاح شعبي معروف ، فإذا ساءت حالة إنسان قالوا : « مال عليه الزمن » ، ولكنهم لا يصفون كيف يميل الزمن . وقد يتصور المرء أنه يميل تارة إلى اليمين وتارة إلى الشمال كالمرتجح السكران . ولو وصفوا كيفية الميل بأنه منح متحدب لقلنا بأنهم سبقوا آينشتاين بفهمهم عن الزمن . على أية حال ، فيجب أن نستفيد من نظرية آينشتاين في الناحية الاجتماعية ، فنعرف أن الزمن بطبيعته مائل مع الجميع والحمد لله ، وأنه لا يسير مستقيماً مع أحد .

وتحدب الزمن هو من حقائق الحياة التي لا يستطيع أن يتصورها الإنسان ، وهناك حقائق كثيرة في هذه الحياة لا يستطيع الإنسان أن يتصورها . فهل يستطيع أيها القارئ أن يتصور إنساناً لا يتدخل فيما لا يعنيه . إن شخصاً كهذا يجب أن يكون موجوداً في ناحية من نواحي الكون . أما كيف يكون شكله ؟ لا أعلم . وهل يستطيع أن يتصور إنساناً يحدّثك بأن عقله غير راجح وتفكيره غير صائب وهو على قدر ضئيل من الذكاء ؟ وهل يستطيع أن يتصور شخصاً علم أنك واقع في مشكلة من المشاكل ، وكان بينك وبينه معرفة قد تكون سطحية جداً ، فلا يبادر بالمجيء إليك والسؤال عن المشكلة للإطلاع على تفاصيلها ثم ابداء

رأيه السديد فيها وتوجيهك في كيف تتصرف والتلميح لك بأن العقل الناضج هو في اتباع نصائحه القيمة وحكمه البليغة ؟ هل تستطيع أن تتصور هؤلاء الأشخاص . يجب أن يكون واحد منهم على الأقل موجوداً في بقعة من بقاع العالم وفي زاوية مغمورة من زوايا الكون . لكن ليس باستطاعتي ولا باستطاعتك ولا باستطاعة أي إنسان أن يتصور هؤلاء البشر وجوداً !

على أية حال ، أظن أن القارئ في هذه المرحلة من قراءة هذا الكتاب وبعد أن قرأ غرائب النسبية الخاصة ، أصبح الآن على استعداد لقبول فكرة تحدب الزمن ، لا لأنه استطاع أن يتصوره ، فآينشتاين نفسه لم يستطع ذلك ، إنما يشعر بغضاضة أن يقول إنه لا يقبل فكرة تحدب الزمن بعد أن أصبح من آينشتاين قاب قوسين أو أدنى .

وبعد ذلك كله ، فقد سلمنا للنظرية النسبية بفاهيم غريبة جداً فيما مرّ من حديث في شؤونها ، أو نستكثر أن نسلّم لها الآن بتحدب الزمن ؟ إنها أصبحت علينا غالية ، وأصبح طلبها هذا طلباً رخيصاً !

مهما يكن من أمر ، فإن فكرة تحدب الفضاء تحلّ مشاكل علمية لم تستطع القوانين الكلاسيكية أن تحلّها . وهناك من الاثباتات على صحتها ما لا يدع مجالاً لتكذيبها .

### هندسة جديدة للكون

إذا اقتنعنا برأي النظرية النسبية العامة في الفضاء - وإثباتاتها كفيلاً باقناعنا - وإذا كان الفضاء محدباً حقاً ، فسوف نجد أن الهندسة الاقليدية التي درسناها في المدارس لم تعد تصلح لتفسير ظواهر الكون . فهذه الهندسة - كما قلنا في أوائل هذا الكتاب - تسمى بالهندسة المستوية



لأنها تدرس السطوح المستوية . وأساس الأشكال فيها يعتمد على شيئين هما الخط المستقيم والدائرة . ومنهما تنشأ الأشكال الأخرى . أما هندسة الحجم ذات الأبعاد الثلاثة المعروفة في الفيزياء الكلاسيكية فهي فرع من هندسة اقليدس وتطبيق لها .

والآن ، وقد رأينا أن الفضاء متحذب منحني فلا تعود الهندسة الاقليدية ذات نفع لنا ، ونصبح بحاجة إلى هندسة أخرى .

من البديهيات في الهندسة الاقليدية المستوية أن الخط المستقيم هو أقصر مسافة ما بين نقطتين . وقد يكون هذا الكلام صحيحاً إذا حصرنا بحثنا في حدود صفحة مستوية من الورق . ولكننا إذا أردنا أن نتوسع عن ذلك فلن نجد تطبيقاً لهذا التعريف . فنحن في حياتنا العادية إذا ما أردنا أن نتكلم عن المسافة ما بين الكويت والدار البيضاء فلنذكر عدد الكيلومترات أو الأميال التي تفصل بينهما عندما نقطع هذه المسافة سواء بالطائرة أو بالسيارة ونحن سائرون على سطح الأرض المنحني أو في خط موازي له . ولن يدور في خلدنا أن نعد خطاً مستقيماً ما بين الكويت والدار البيضاء بحيث يخترق هذا الخط سطح الأرض ليصل بينهما . لأن طبيعة سطح الأرض الذي نعيش عليه متحذبة . وعلى ذلك يمكن أن نقول بأن أقصر مسافة ما بين الكويت والدار البيضاء هي الخط المنحني الموازي لانحناء سطح الأرض الذي يصل بينهما . ولن نستطيع أن نقول بأن الخط المستقيم هو أقصر مسافة بينهما لأنه لا وجود له في الواقع .

إن مفهوم الخط المستقيم على سطح الكرة الأرضية هو الخط الموازي لسطحها المنحني . ألسنا نحدد الاستقامة في أعمالنا الهندسية بميزان الماء ؟ ولو أخذنا نعد خطاً مستقيماً وميزان الماء معيارنا لوجدنا بعد مدة معينة أننا درنا حول الكرة الأرضية وجئنا إلى الخط المستقيم من حيث بدأنا منه . ونكون قد أنشأنا دائرة كاملة ونحن لا نزال نحسب أننا نرسم خطاً مستقيماً . حتى الخط المستقيم الذي نرسمه على الورق فهو غير مستقيم حقاً ، لأنه

جزء من الدائرة التي تحيط بالكرة الأرضية .

وعلى ذلك ، فإذا شئنا أن نعرف أقصر مسافة بيننا وبين أحد النجوم ، كالنجم القطبي مثلاً ، فيجب أن نعرف قبل كل شيء أنها ليس من الضروري أن تكون خطاً مستقيماً . ولما كان الضوء باليداهة يقطع أقصر المسافات ما بين نقطتين ، فيمكن أن نقول أن أقصر مسافة بيننا وبين النجم القطبي هي تلك الطريق التي يسلكها الضوء الصادر عن ذلك النجم حتى يصل إلينا . ولكننا سوف نرى فيما يلي من حديث أن الضوء نفسه يسير في خطوط منحنية حسب تحذبات الفضاء ، فإذا كانت هناك تحذبات فضائية ما بيننا وبين النجم القطبي تعرج طريق الضوء ، فلن تعود أقصر مسافة بيننا وبينه هي الخط المستقيم .

هذا هو شأن الخط المستقيم . أما المثلث فله شأن آخر .

إن سطح الكرة الأرضية هو مثل جيد على السطوح المحدبة . دعنا نرسم عليها مثلاً قاعدته خط الاستواء . ولنتخبط بلدين على هذا الخط أحدهما في أفريقيا والآخر في أميركا الجنوبية . ولنقيم عموداً من كل منهما



(شكل ٣٠)

مثلث قاعدته خط الاستواء



إلى الجهة الشمالية ، وسيتقابل العمودان في القطب الشمالي . ويصبح لدينا مثلث قاعدته خط الاستواء ورأسه في القطب الشمالي ، وعدد زواياه أكثر من قائمتين ، لأن زاويتي القاعدة وحدهما قائمتان . ( شكل ٣٠ ) .  
ولو جربنا إنشاء مثلثات عديدة على سطوح مختلفة لوجدنا دائماً أن مجموع زوايا المثلث المرسوم على سطح محدب يكون دائماً أكثر من قائمتين ، ومجموع زوايا المثلث المرسوم على سطح مقعر يكون دائماً أقل من قائمتين .

ولو تصورنا مهندساً ظلاً يعيش على سطح من السطوح ويريد أن يعرف شكل السطح الذي يعيش عليه ، فإنه يستطيع أن يعرف ذلك بسهولة إذا رسم مثلاً وقاس درجاته بمنقلة ظل . وإذا وجد زوايا المثلث قائمتين كان معنى ذلك أن السطح مستو ، وإذا كان أكثر من ذلك كان محدباً أو أقل من ذلك كان مقعراً .

فأين نحن إذن من هندسة أقليدس التي نطمح أن تكون زوايا المثلث قائمتين ؟ إنما لا تعود صالحة لنا في مجالات بحثنا الآن .

وما دمنا نتكلم عن السطوح المحدبة والأجسام المحدبة ، فيجب أن نعرف أن هناك نوعين من التحدب : أحدهما يسمى التحدب الإيجابي والآخر التحدب السلبي . وهذه مشكلة سوف نعرضها عندما سنبحث حجم الكون فيما إذا كان محدباً إيجابياً أم سلبياً .

والسطح المتحدب محدباً إيجابياً هو ذلك الذي أخذ من شكل هندسي ينغلق على نفسه ، كالكرة مثلاً . أما ذلك الذي ينحدر محدباً سلبياً فهو الذي أخذ من سطح لا ينغلق على نفسه ، ويمكن أن نضرب عليه مثلاً بسرج الحصان . ( شكل ٣١ ) .

إنك إذا ما أخذت قطعة من جلد كرة القدم وحاولت أن تضعها على مائدة مستوية وأن تبسطها عليها ، فإنك تحتاج إلى أن تضغط على أطرافها وتمدها حتى يتم انتشار قطعة الجلد على السطح المستوي . إن الأطراف



( شكل ٣١ )

تكون منكشمة أكثر من الوسط وشكل كهذا إذا امتدت أطرافه بحسب اتجاهها فإنها تلتقي وتكون شكلاً هندسياً مغلقاً على نفسه ، هو الكرة التي أخذنا منها هذه القطعة .

لكننا نلاحظ عكس هذه الظاهرة إذا ما أخذنا قطعة جلد من سرج حصان وحاولنا أن نبسطها على مائدة مستوية ، كما فعلنا فيما سبق . إننا نلاحظ في هذه الحالة ، أن هناك زيادة في الأطراف . وإذا حاولنا تسويتها مع سطح المائدة المستوي ، علينا أن نكمش الأطراف بشكل من الأشكال أو أن نمدد الوسط ونسحبها . وشكل كهذا إذا امتدت أطرافه حسب اتجاهها فإنها لن تلتقي وستمتد إلى ما لا نهاية .

وإذا تصورنا أن هناك مهندساً ظلاً يعيش على سطح من هذه السطوح فإنه يستطيع أن يعرف فيما إذا كان محدباً إيجابياً أم سلبياً أم أنه مستو .

إنه يضع علامات على السطح على مسافات متساوية ، ويرسم مربعاً

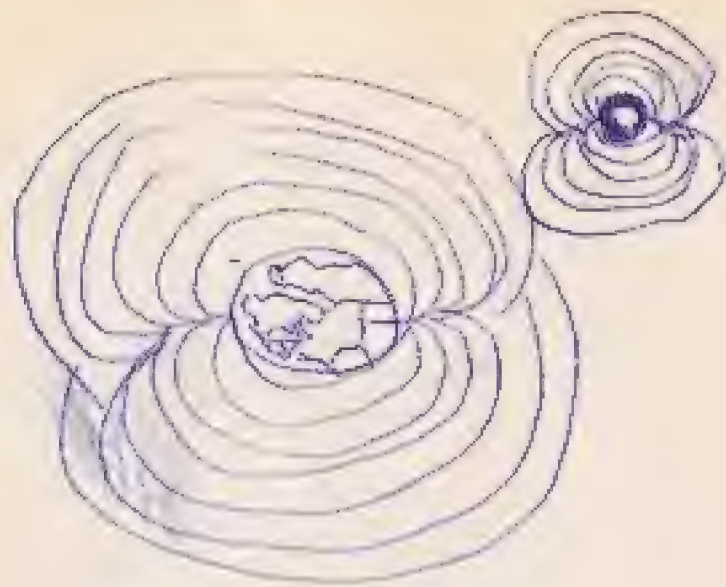


ثم يرسم مربعاً آخر أكبر من الأول ، ويرى عدد العلامات الموجودة في المربع الصغير ، وعددها الموجود في المربع الكبير .  
فإذا كان ازدياد عدد العلامات يتناسب مع ازدياد مساحة المربع كان السطح مستوياً ، وإذا كان ازدياد عددها أقل من نسبة ازدياد مساحة المربع كان متحدياً تحدياً إيجابياً ، أما إذا كان يزداد عددها بأكثر من نسبة ازدياد المساحة كان المتحدب سلبياً .

لنفرض أن المهندس الظل انشأ مربعاً طول ضلعه ثلاث ياردات فوجد أن فيه تسع علامات ، ثم انشأ مربعاً آخر طول ضلعه تسع ياردات . أنه يعد العلامات الجديدة ، فإذا كانت إحدى وثمانين علامة كان السطح مستوياً ، وإذا كانت أقل من ذلك كان متحدياً تحدياً إيجابياً ، وإذا كانت أكثر من ذلك كان متحدياً سلبياً .

بهذه الطريقة يستطيع المهندس الظل أن يعرف نوع تحدب السطح الذي يعيش عليه ، دون أن يحكم عليه من الخارج .

والشيء نفسه يقال عن الهجوم ، فأننا نعرف أنها متحدبة إيجابياً أم سلبياً بحسب ازدياد العلامات مع مكعب المسافة المعينة .



الاجازية

gravity

gravity

gravity

GRAVITY



## جاذبية نيوتن

يقول الخبراء بقتض العلم وطرائف العلماء ، أن نيوتن كان مضطجماً تحت شجرة تفاح ، فسقطت تفاحة على رأسه جعلته يفكر في سبب سقوطها وسقوط الأشياء الأخرى على الأرض . ولا أظن إلا أن كل فرد منا يود أن يشكر تلك التفاحة التي اختارت رأس نيوتن لتسقط عليه فتجعله يفكر في الجاذبية ، ويضع لنا قانونها الشهير باسمه .

فقد كان الناس قبل نيوتن يشاهدون الأشياء وهي تسقط على الأرض ، ويظنون أن الأرض بطريقة ما تجذب هذه الأشياء إليها . ولكن نيوتن هو أول من قال بأن الجذب متبادل بين الأرض وبين ما عليها من أجسام . فالأرض جذبت التفاحة التي سقطت على رأسه ، ولكن التفاحة في الوقت نفسه جذبت الأرض إليها ، وبما أن جسم الأرض أكبر من جسم التفاحة لذلك وجدنا أن التفاحة هي التي تحركت حتى وصلت الأرض .

وظاهرة الجذب هذه ليست موجودة بين الأرض وما عليها من أجسام وحسب ، بل هي موجودة بين الأجرام السماوية ، وبين أي كتلة وأخرى في هذا الكون . فالأرض والكواكب تجذب بعضها البعض وتجذب الشمس إليها ، والشمس بدورها تجذب الأرض والكواكب وهكذا .

وكان نيوتن والعلماء الآخرون حتى مطلع القرن العشرين ، يعتقدون أن

رقم الإيداع : ٩٣/١٦٠٦

المطبعة العربية الحديثة

١٠ شارع ٥٧ ومطبعة الخزانة العامة بالقاهرة  
١٩٥٨ م ١٩٧٨ م



الفضاء منسجم متناسق - أو بحسب تعبير نيوتن - متشابه في جميع جهاته ، مملوء بالآثير الذي تسبح فيه الكواكب <sup>أ</sup> وقد وجد نيوتن أن أحسن تفسير لهذه الظاهرة هي افتراض وجود قوة في الكتل المادية تشدها إلى بعضها البعض . وسمى هذه القوة بالجاذبية وقال إن من طبيعة أي جسم في هذا الكون أن يجذب إليه أي جسم آخر . ووضع قانونه الشهير القائل بأن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وتناسباً عكسياً مع مربع المسافة بينهما . فقوة الجذب بين الأرض والشمس مثلاً تساوي :

$$\text{كتلة الأرض} \times \text{كتلة الشمس}$$

(المسافة بين الأرض والشمس)

إن نيوتن بعقله الجبار وتفكيره العلمي قد وضع قانونه هذا لتفسير ظاهرة موجودة من ظواهر الطبيعة . وقد افترض وجود قوة الجذب في الأجسام واعتبرها خاصية أساسية من خصائص المادة . ووجدنا في الواقع أن قوة الجذب أو قوة الشد الذي تبذله الشمس على الكواكب هي التي تفسر لنا مسار هذه الكواكب في مداراتها . إذن فقد اخترع نيوتن هذه القوة لكي يفسر هذه الظاهرة . وقد فسرتها في الحقيقة تفسيراً مقنعاً . لكننا لا نجد أي دليل يثبت لنا أن الجاذبية هي قوة كامنة فعلاً في الكتل المادية ، إلا الظاهرة التي اخترعت هذه القوة لتفسيرها .

وقد يصعب على المرء ، إذا فكر تفكيراً مجرداً ، أن يدرك وجود قوة في الشمس تشد الكواكب إليها أو وجود قوة في الأرض تشد بها الأجسام الكائنة على سطحها . ولكنه يسلم مكرهاً بوجودها لتفسير الظاهرة الغريبة التي يراها أمام عينيه .

ونيوتن عندما وضع قانونه هذا ، كان يفهم الكون كما فهمته الفيزياء الكلاسيكية ، في القرنين ونصف القرن التي تلت زمانه ، وكما علم الفيزيائيين

الكلاسيكيين أن يفهموا الكون بقوانينه التي وضعها في هذا الخصوص . كان يعرف بالبدهة عندما سقطت التفاحة على رأسه أن التفاحة قد تركت مكانها الذي كانت معلقة فيه وهوت أو تحركت إلى الأرض ، بينما نحن نعرف الآن بعد أن درسنا النظرية النسبية الخاصة أن لا فرق لدينا بالنسبة للكون كله ، إذا قلنا بأن التفاحة هي التي تحركت إلى الأرض أو أن الأرض هي التي تحركت إلى التفاحة .

كان يعرف أن الكون مكون من ثلاثة أبعاد ، وأن الفضاء متشابه في جميع اتجاهاته تسبح فيه الافلاك ، وأن من المفروض في الاجسام أن تنشي في خطوط مستقيمة في الفضاء ، وقانونه حول القصور الذاتي له علاقة بهذا الشأن . وقد استغرب عندما رأى الكواكب تدور حول الشمس في مدارات شبه دائرية ، فرأى من البديهي أن تكون هناك قوة شدة في الشمس تشد الكواكب إليها بها ، سماها قوة الجاذبية ، ووضع لها قانوناً كان ، وما يزال ، ناجحاً إلى حد بعيد .

وظل هذا القانون ، مدة قرنين ونصف قرن من الزمن ، من قوانين الفيزياء الثابتة الراسخة الموطدة الأركان التي لا يتطرق إليها الشك بحال من الأحوال . كان يحل كل المشاكل التي تعترض الفيزياء الكلاسيكية حلولاً صائبة مرضية مقنعة ، والعلماء عليها راضون وبها قاننون . لولا ذلك الكوكب اللعين ... عطارد .

### حكاية عطارد

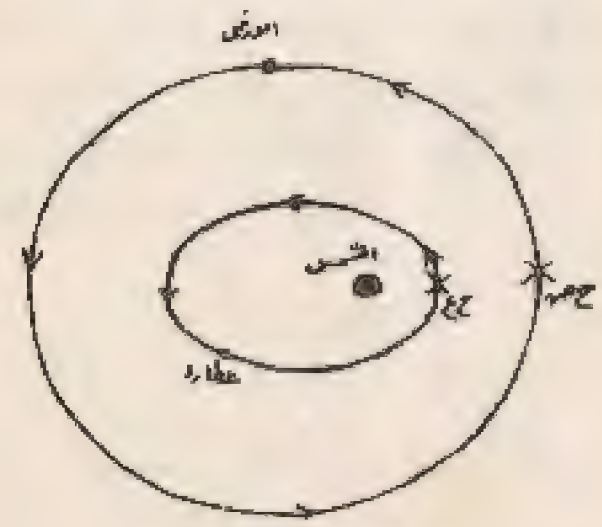
إن المسألة التي لا يستطيع حلها قانون نيوتن الجبار هي حكاية تثير حب الاستطلاع في القارئ ، ويجب سردها عليه .

ولكننا قبل ذلك يجب أن نعرف شيئاً عن الكواكب الأخرى ومركز عطارد بالنسبة لها وموقعه في النظام الشمسي . فالشمس وهي الأم تقع في



المركز ويدور حولها أبنائها التسعة . وهم بحسب قربهم من الشمس : عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو . وإذا سمحنا لأنفسنا أن نتخذ قرب الأبن من أمه دليلاً على مقدار الدلال الذي نحظى به ذلك الأبن ، فسيكون عطارد هو أكثر الكواكب دلالاً لأنه أقربها إلى الشمس .

وهذه الكواكب كلها تدور حول الشمس بانتظام . والدورة الكاملة للكوكب يتمها في مدة معينة هي سنة ذلك الكوكب . فالأرض مثلاً ، وهي الكوكب الثالث ، تدور حول الشمس في ٣٦٥,٢٥ يوماً من أيامنا . وتسمى هذه الفترة : السنة الأرضية . ولكل كوكب سنته الخاصة به . والطريق الذي يسلكه الكوكب في دورته حول الشمس يسمى مداراً . ولكل كوكب مداره الخاص به . وقد يتصور القارئ أن الكوكب في مداره يرسم دائرة هنلمية تكون الشمس مركزها . وهذا غير صحيح . فالواقع أن المدارات الكوكبية في نظامنا الشمسي كلها بيضوية الشكل - أي



(شكل ٣٢)  
مدارات بيضوية وليست دائرية

دائرة مفلطحة من جانبيها - ويختلف مقدار هذا التفلطح بحسب مدار كل كوكب . فمدار الأرض حول الشمس مثلاً قليل التفلطح ويكاد يكون دائرة ، ومدار بلوتو شديد التفلطح . أما أشد المدارات الكوكبية تفلطحاً فهو مدار الكوكب المدلل عطارد (شكل ٣٢) .

وما دام الكوكب (أي كوكب) يدور حول الشمس في مدار بيضوي الشكل ، فإن بعده عن الشمس يختلف ما بين لحظة وأخرى ، حسب موقعه من المدار البيضوي . ففي نقطة من النقاط يكون أبعد ما يكون عن الشمس (أقصى الطرف الأيسر في الشكل ٣٢) وفي نقطة أخرى يكون أقرب ما يكون إلى الشمس (أقصى الطرف الأيمن في الشكل نفسه) . وعلى ذلك ، فإذا دار الكوكب دورة كاملة حول الشمس فإنه يمر في نقطتين : نقطة يكون فيها بعيداً جداً عن الشمس ، ونقطة يكون فيها قريباً جداً منها . والنقطتان متقابلتان في المدار ، وتبعد أحدهما عن الأخرى نصف دورة .

والنقطة التي يكون فيها الكوكب أقرب ما يكون إلى الشمس تسمى الحضيض الشمسي لذلك الكوكب . والنقطة ح ض في شكل (٣٢) هي حضيض الأرض الشمسي ، والنقطة ح ع هي حضيض عطارد الشمسي . وبناء على ذلك فكل كوكب إذا دار حول الشمس دورة كاملة يمر في حضيضه الشمسي مرة واحدة .

وقد يظن القارئ أن الحضيض الشمسي لكل كوكب هو نقطة معينة في اتجاه ثابت بالنسبة للشمس ، يدور الكوكب دورته ثم يرجع إليها . والواقع غير هذا . فالكوكب إذا دار دورة كاملة لا يعود إلى النقطة نفسها من الحضيض الشمسي ، بل نجد أن الحضيض الشمسي قد أصبح نقطة أخرى مجاورة لها . أي أن الحضيض يدور نفسه حول الشمس دورة بطيئة جداً . الشكل (٣٣) .





( شكل ٣٣ )

دورة الحضيض الشمسي

ومن الظلم أن نكتفي باستعمال صفة « بطيئة جداً » عندما نصف دورة الحضيض الشمسي للكواكب حول أمها الشمس . فهذه الدورة في الواقع تتحدى النمل في بطئها . وإذا أخذنا الأرض مثلاً على ذلك ونظرنا إلى حضيضها الشمسي فسنجد أنه يدور حول الشمس دورة واحدة في مدة أربع وثلاثين مليون سنة !

ونظراً لهذا البطء الشديد فقد لجأ العلماء إلى حسابات دقيقة جداً ولكنها في الوقت ذاته سهلة جداً أيضاً ، لتحديد مقدار دوران الحضيض الشمسي فنحن نعرف مثلاً من حسابات الزوايا أن الزاوية القائمة تسعون درجة ، وأن محيط الدائرة يقسم إلى ثلاثمائة وستين درجة على اعتبار أنه يحيط بأربع زوايا قوائم مرسومة على مركز الدائرة . إذن فقد أصبحنا نقدر مقدار الدرجة الواحدة من دراستنا لهذه الأشكال . وكل درجة من هذه الدرجات قسمها العلماء إلى ستين « ثانية » ، وكل « ثانية » قسموها بدورها إلى ستين « ثالثة » . وعلى ذلك ففي كل درجة ٣٦٠٠ ثالثة .

والحضيض الشمسي للأرض يدور حول الشمس ٣٦٨ ثالثة كل قرن ( مئة عام ) .

وإذا أصبحنا نعرف أن « الثالثة » هي جزء من ثلاثة آلاف وسمائة جزء من الدرجة الواحدة ، نستطيع أن نقدر مدى بطء دورة الحضيض

الشمسي ، ويصبح فهمنا لما يتكلم عنه العلماء يسيراً .  
ودوران الحضيض الشمسي لكل كوكب يتأثر بوجود الكواكب المجاورة له . وقانون جاذبية نيوتن كاف جداً لحساب مقدار تأثير الكواكب في مدارات بعضها البعض ، وتفسير مقدار دورة الحضيض الشمسي في كل منها .

وعندما كان العلماء الفلكيون يعرفون من الكواكب السيارة حتى اورانوس فقط ، حسبوا دورة حضيضه الشمسي حول الشمس بناء على قانون نيوتن في الجاذبية ، فوجدوا أن هذه الدورة يجب أن تكون متأثرة بكوكب آخر ، تنبأوا بوجوده بناءً على هذه الحسابات فقط . وأخذوا يفتشون أرجاء السماوات فوجدوا نبتون . إذن فقد عرفوا نبتون قبل أن يروه في التلسكوبات بناءً على الحسابات التي أوصلهم إليها قانون نيوتن في الجاذبية - ذلك القانون الخبار !

والشيء نفسه حدث عندما حسبوا دورة حضيض نبتون : فقد وجدوا أن دورته يجب أن تكون متأثرة بكوكب تاسع . وانطلقت عدسات التلسكوبات تفتش في الفضاء الشاسع ، حتى عثروا على الكوكب المطلوب ووجدوا بلوتو .

كل هذا حصل بناءً على حسابات القانون الرابع المبسّط ، قانون جاذبية نيوتن . فقد كان دائماً يعطي نتائج رائعة جداً ، مذهلة جداً . إلا في حالة واحدة ، هي حالة الكوكب المدلل عطارد .

كان مدار عطارد واختلف حضيضه الشمسي لغزاً من الألغاز وعقدة من العقدة التي لم يستطع العلماء أن يجدوا لها حلاً . فمن المعروف عن هذا الكوكب أنه أقرب الكواكب إلى الشمس كما قلنا ، وهو أسرعها ومداره أشد المدارات تفلطحاً ، وحضيضه الشمسي يدور حول الشمس ٥٧٤ ثالثة كل قرن . وباستطاعة قانون نيوتن بحجروته أن يفسر لنا ٥٣١ ثالثة فقط ، وهذه يدورها حضيضه الشمسي بتأثير الكواكب الأخرى .



أما الثلاث والأربعون ثالثة (٤٣ ثالثة) الباقية فليس لها تفسير بحال من الأحوال .

وقال بعض العلماء أن هناك كوكباً آخر بين عطارد وبين الشمس ، يجب أن يكون موجوداً لكي يفسر لنا هذه الثوالت الثلاث والأربعين . وأنفذت عدسات التلسكوبات تبحث وتفتش وتفحص ، ولكن التعب ذهب هباء والجهد كان عبثاً .

وظلت هذه المعضلة لغزاً من الغاز الحسابات الفلكية ، يقف قانون نيوتن أمامها حائراً ، وعلامم المعجز والتعب على مجاه ، وتغضنات الشيخوخة أخذت تحظ آثارها على جبينه العالي وحول أفقه الأشم . وجاءت النظرية النسبية العامة .

## الجاذبية عند أينشتين

الفرق بين جاذبية نيوتن وجاذبية أينشتين :

هنالك فرق هام بين نظرية نيوتن إلى الجاذبية وبين نظرية أينشتين إليها . إن خلاصة نظرية أينشتين في الجاذبية نستطيع أن ندركها من مفهومنا عن انفضاء المتحدب . ولا أدري إذا كان علماء الفيزياء سوف يبيحون لي أن أقول بأن تحدب الفضاء على اشكال كروية يخلق حول النجوم شبه اتخاذ تدوير فيها الكواكب حولها . فتحدب الفضاء حول الشمس مثلاً يخلق حولها اتخاذ تدوير رباعية الأبعاد تجعل الأرض والكواكب الأخرى تدور فيها في مدارات شبه دائرية ، لا لأن الشمس تشد هذه الكواكب إليها كما يقول نيوتن ، ولا لأن هناك قوة اسمها الجاذبية ، فقوة كهذه لا وجود لها ، ولكن لمجرد أن الفضاء متحدب وفيه هذه الاتخاذ التدوير الفضائية . فالكواكب إذن تدور بحسب أبسط ممر تجده أمامها ، وهي في الواقع لا تستطيع أن تدور إلا في هذا الممر وفي الاتجاه الذي تحدده طبيعة الفضاء المتحدب الرباعي الأبعاد .

إن الجاذبية عند نيوتن قوة ، ولكنها عند أينشتين مجال . إن طبيعة الفضاء المتحدب حول الكتل تحديداً تحف تدريجياً كلما ابتعدنا



عن الكتلة الواقعة في مركز التحدب ، يجعل من الجاذبية مجالاً أشبه بالمجال المغناطيسي الذي قد يذكره القارئ من دراساته عن المغناطيس في الفيزياء .  
نيوتن عندما يضع قانونه ، يقيس مقدار القوة ما بين كتلتين ثابتتين ، أما أينشتاين فإنه يقيس المسار الهندسي لجسم معين في فضاء ذي هندسة معينة .

وخلاصة القول ، إنها القارئ الحائر ، إن الجاذبية التي درستها في المدرسة ، وصرفت عليها وقتاً طويلاً ، وأفهمك الاساتذة أنها حقيقة لا مرء فيها ، وأنها قوة تقاس بمقاييس دقيقة جداً حسب قوانين نيوتن ، هذه الجاذبية ، بهذا الشكل ، لا وجود لها .  
وهذا ما تقوله النظرية النسبية العامة .

وبالإضافة إلى ذلك فهناك فرق رئيسي في الأساس الذي تقوم عليه النظريتان ، يجب أن لا نغفله أبداً .

فقد وضع نيوتن قانونه في الجاذبية لتفسير ظاهرة معينة من ظواهر الكون . وقانونه محصور في هذه الظاهرة فقط . أما أينشتاين فقد وضع نظرية عامة شاملة لتفسير هندسة الكون كله ، ويبرز من خلالها قانون الجاذبية كأحد الأجزاء التي تكمل النظرية وتبلورها . فهو لم يضع قانونه لتفسير ظاهرة واحدة معينة كما فعل نيوتن .

إذا أدركنا هذه الفروق ، بحق لنا على ضوئها أن نتساءل : ما هو كنه الجاذبية في النظرية النسبية ؟ وما هي هذه الهندسة التي تتكلم عنها ؟

وقبل أن نفعل ذلك علينا أن نعرف ما هو التسارع .

### التسارع :

عندما بحثنا النظرية النسبية الخاصة ، كانت كل أبحاثنا قائمة على أجسام

تسير بسرعات معينة وكنا ندرس الظواهر الفيزيائية أثناء سيرها بسرعتها المعينة هذه . وكنا نفرض أثناء ذلك أن هذه الأجسام تسير بسرعات منتظمة . فعندما كنا نتحدث عن سفينة فضائية تسير بسرعة خمسة آلاف ميل في الساعة ، كنا نعني أن سرعتها ثابتة لا تختلف بين ساعة وأخرى ، وكان المفهوم لدينا أنها لو سارت عدداً كبيراً جداً من الساعات فلنمها تقطع خمسة آلاف ميل في كل ساعة من هذه الساعات .

أما النظرية النسبية العامة فلنمها تبحث السرعات المتغيرة ما بين لحظة وأخرى . وتغير سرعة الجسم ما بين اللحظة والأخرى يسمى « التسارع » . فإذا تحركت سيارة من موقفها وأخذت تزيد سرعتها تدريجياً حتى أصبحت تسير بسرعة ستين ميلاً في الساعة ، فإننا نقول : إن السيارة بدأت من سرعة صفر وأخذت تتسارع أو مرت في حالة تسارع حتى بلغت ستين ميلاً في الساعة . وهي في هذه الآونة موضع حديثنا في النظرية النسبية العامة . أما إذا سارت بعد ذلك بهذه السرعة مدة طويلة أو قصيرة ، فيصبح الحديث عنها من شأن النظرية النسبية الخاصة .

والتسارع ظاهرة نشاهدها في جميع وسائل النقل ، ونشاهدها أيضاً في الأجسام الساقطة تجاه الأرض . والفيزياء تحدثنا بأن الأجسام الساقطة تسارع نحو الأرض بمقدار ٣٢ قدماً في الثانية في الثانية . أي أن الجسم أثناء سقوطه من مكان عال تجاه الأرض تزيد سرعته في كل ثانية اثنين وثلاثين قدماً .

وهناك نوع آخر من التسارع يسمى التسارع العكسي . وهذا نشاهده في الجسم السائر بسرعة معينة عندما تأخذ سرعته بالتباطؤ حتى يقف . وهذه الظاهرة نشاهدها في السيارة المسرعة ( أو القطار السريع ) عندما تأخذ في التباطؤ استعداداً للوقوف . ونشاهدها أيضاً عندما تقذف حجراً أو كرة في الفضاء إلى أعلى . فإن الحجر يتطلق من يدنا بسرعة معينة كلما ارتفع إلى أعلى خفت سرعته هذه حتى يصل إلى لحظة يقف فيها في الفضاء ثم يبدأ



بالرجوع القهقري إلى الأرض . وهو في ارتفاعه يتسارع تسارعاً عكسياً وفي انخفاضه يتسارع تسارعاً عادياً . . .

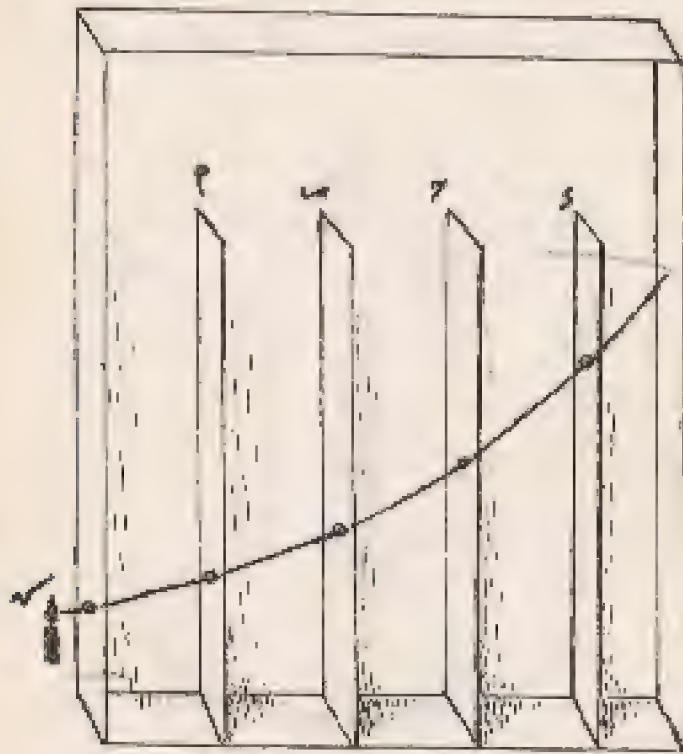
على أية حال ، فإذا كنا نجلس في سيارة واقفة على الأرض ، وانطلقت سائرة إلى الامام ، فإننا نلاحظ أن أجسامنا قد اندفعت إلى الخلف ، وكأن قوة ما تشدنا إلى الجهة المعاكسة لاتجاه سير السيارة . حتى إذا أصبحت السيارة تسير بسرعة منتظمة فلن نعود نحس بشيء يدفعنا لا إلى الامام ولا إلى الخلف ، ونشعر باتزان أجسامنا في مواضعها . أما إذا أراد السائق أن يوقف السيارة فإننا نحس بأن شيئاً يشدنا إلى الامام . وإذا أوقفها السائق فجأة خوفاً من اصطدام ، فليس بعيداً أن يقذف بنا إلى الامام بشدة بحيث تصطدم انوفنا بالمقعد الموجود أمامنا . وإذا كان اصطدام انوفنا بما هو موجود أمامنا يجعلنا نفهم معنى التسارع ، فإنه غير مذكور .

وهناك نوع ثالث من التسارع هو الذي يحدث عندما يسير الجسم في خط منحني . والأجسام السائرة في مدارات دائرية أو بيضوية تعتبر أنها سائرة في تسارع مستمر ، لأنها دائماً تغير اتجاه الخط المستقيم الذي كان من المفروض أن تسير فيه الأجسام . وأنت إذا ما كنت راكباً سيارة سائرة بسرعة منتظمة وغير السائق اتجاهها عند منحني على اليمين ، فإنك تجد شيئاً يدفعك إلى الشمال ، والعكس بالعكس . أي أنك ، أيها القارئ ، تندفع دائماً إلى الجهة المعاكسة لاتجاه دوران السيارة . وأظنك تعرف هذه الحقيقة منذ أول مرة ركبت فيها السيارة .

مهما يكن من أمر ، فإن أينشتين كان أول من لاحظ بأنه لا يوجد فرق بين الجاذبية والتسارع ، أو على الأصح ، بأن الجاذبية هي نوع من التسارع .

وضرب على ذلك مثلاً شهيراً هو المصعد الكهربائي . وافترض ان جماعة من العلماء يركبون مصعداً في أعلى عمارة عالية ، فالتقط الجبل بهم

وهو المصعد باتجاه الأرض . إن المصعد ، كبقية الاجسام الساقطة سوف يسير بتسارع ، وسوف يحس العلماء فيه أن لا وزن لهم ولا تأثير للجاذبية عليهم . أي أن سير المصعد باتجاه مركز الأرض يتسارع ٣٢ قدماً - ثانياً ثانياً يلغي فعل الجاذبية الأرضية . وليس للتسارع (أو للجاذبية) آثار ميكانيكية فقط ، بل له آثار على ظواهر فيزيائية أخرى . فالضوء مثلاً يبدو أنه يسير في خط منحني الشكل (٣٤) .



( شكل ٣٤ )

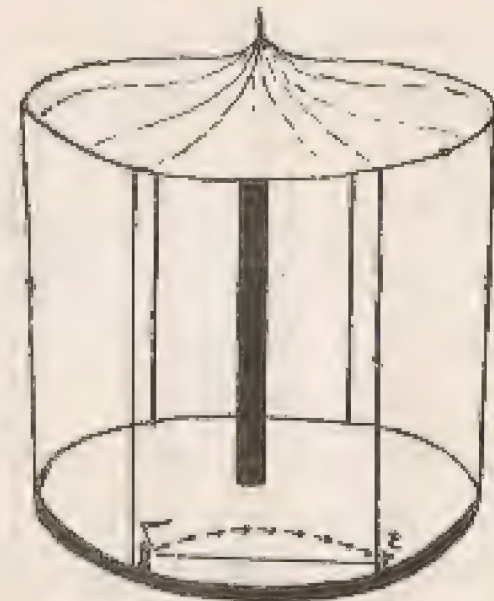
انحناء شعاع الضوء داخل المصعد المتسارع

لنفرض أن هناك شعاعاً من الضوء صادراً من الشمعة ش في الشكل (٣٤) ويدخل إلى المصعد من فتحة في جدار المصعد . من المفروض نظرياً أن الضوء يسير في خط مستقيم . ولكن المصعد ساقط بسرعة تجاه



الأرض ، فما يكاد الضوء يصل اللوحة الزجاجية حتى يكون المصعد قد فزل قليلاً ، وهكذا في بقية اللوحات . فيجد العلم الموجود داخل المصعد أن الضوء يسير في خط منحرف بدلاً من أن يسير في خط مستقيم . وهناك مثل آخر على التسارع الدائري وأثره في بعض الظواهر الفيزيائية . هل ركبت ، أيها القارئ ، الأراجيح ؟ وهل أنت خبير بأنواعها ؟ أرجح أن هذا أمر قد حصل ، على الأقل قبل أن تكون قارئاً .

هناك نوع من الأراجيح يدور في دائرة كاملة حول المركز ( الشكل ٣٥ ) . إذا جلست في أحد أطرافها وأخذت تلف به ، فإنك تحس بأن



( شكل ٣٥ )

الأراجيح الدائرية

شيئاً يدفعك بعيداً عن المركز ، بحيث تستطيع أن تقول بأن هناك جاذبية من نوع ما تجذبك إلى الخارج . ونحن في هذه الحالة نكون في وضع عكس ذلك الذي نحس به نحو الكرة الأرضية . إذ أن جاذبية الكرة

الأرضية تجذبنا إلى المركز ، أما في هذه الأرجوحة فبالجاذبية ( أو قوة الشد ، أو أثر التسارع ) تشدنا بعيداً عن المركز .

وإذا ما حاولت أن تفحص مسير شعاع الضوء الصادر من الشمعة من فإنك ستجد أنه لن يسلك الخط المستقيم شرع ، بل سيسلك الخط المنحني ذا الأسهم في الشكل ( ٣٥ ) .

ويمكننا في حالة كهذه أن نبحث أثر التسارع على الزمن . فلو فرضنا إنساناً يجلس على الطرف ومعهم ساعة سحرية يسجل بها الزمن ، وإنساناً آخر يجلس عند العمود المحوري ومعهم ساعة مماثلة ، فإننا بتطبيق النظرية النسبية الخاصة نجد أن الجالس على الطرف يدور بسرعة أكبر . ومع أن السرعة في حالتنا هذه دائرية إلا أننا إذا طبقنا بعض الرياضيات العليا يمكن أن نحسب مدى السرعة التي هي في خط مستقيم والتي يكون لها أثر على تباطؤ الزمن . وهي على الطرف أسرع منها على المركز ضعافاً مضاعفة ، وبناءً على ذلك ، فإننا نتوقع تباطؤاً في الزمن على الطرف أكثر منه حول المركز .

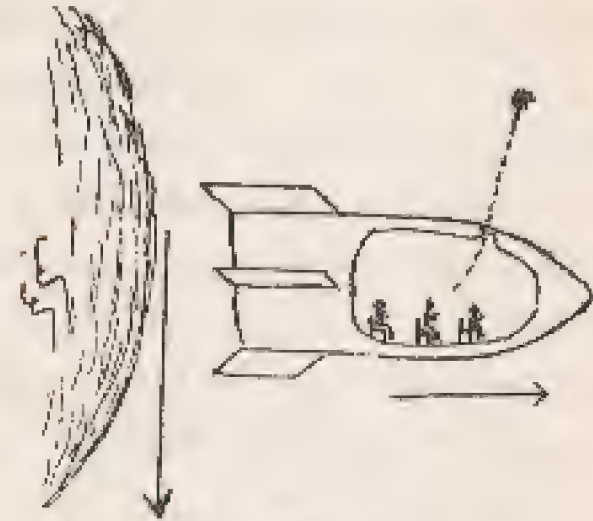
إن هذا الأثر موجود في التسارع أو هو موجود في الجاذبية ، سمها ما شئت . فالنظرية النسبية تقول بأنه لا يوجد فرق بين التسارع والجاذبية . وأن ما يسميه الفيزيائيون الكلاسيكيون بقوة الجاذبية ما هو في الواقع إلا نوع من التسارع . ولن يستطيع إنسان أن يفرق بينهما .

كنا قد تركنا المصعد الكهربائي هاوياً إلى باطن الأرض بمن فيه من العلماء . والعلماء الذين يقدرّون حقيقة افلات المصعد الكهربائي لا يفكرون في الفرق بين التسارع والجاذبية ، إنما سيفكرون في الحقيقة المرة التي سوف يؤول إليها أمر كل من ركب المصعد واقطع به الحبل .

ولكن لماذا تركنا مثلنا التقليدي الذي كنا نقضربه في النسبية الخاصة ؟ فلنعد إليه ولتركب سفينة فضائية شكل ( ٣٦ ) ، تحرق بنا عبر الفضاء بسرعة منتظمة مقدارها خمسة وعشرون ألف ميل في الساعة بالنسبة لأحد



النجوم . وإذا كنا بعيدين عن الاجرام السماوية فإننا لن نحس بشيء  
يجذبنا ونكون في حالة فقدان الجاذبية . وسوف نبقى جالسين في مقاعدنا



(شكل ٣٦)

الجاذبية والتسارع في السفينة الفضائية

المثبتة في ارض السفينة (ولن ننسى أن باستطاعتنا أن نضع كرسيًا على أي  
جدار من جدرانها أو على سقفها ونجلس عليه) . على أية حال فإذا أراد  
قائد السفينة أن يزيد من سرعتها ، فإننا نحس أن أجسامنا تندفع إلى  
الناحية المعاكسة ، طيلة مدة التسارع ، حتى يصل القائد إلى السرعة التي  
يريدها . فإذا ما انتظمت السرعة لم نعد نحس بأي شيء يشدنا إلى جهة  
من الجهات . وعلى ذلك ، فعندما نكون داخل السفينة الفضائية نستطيع  
أن نحكم متى تسارع السفينة إلى الأمام ، ومتى تسارع تسارعًا عكسيًا  
(أي تتباطأ) . وإذا ما دارت وغيّرت اتجاهها فإننا نستطيع أن نعرف  
إلى أي جهة دارت . كل هذا نستطيع أن نحكم عليه ونحن داخل السفينة  
دون أن يكون لنا أي اتصال بالخارج ، وذلك فقط من ادراكنا للجهة التي  
تميل إليها أجسامنا .

ولكن لنفرض أن السفينة الفضائية كانت سائرة بسرعتها المنتظمة سيرًا  
رقيقًا ونحن بداخلها مطمئنون هادئون . وحدث أن مرّ خلفها كوكب عابر  
(الشكل ٣٦) بحيث لم يؤثر على اتجاهها ولا على سرعتها ، واستمرت سائرة  
في طريقها دون أن تكثر له . إننا نحس عندئذ أن أجسامنا تندفع إلى  
الخلف ، ولن نستطيع أن نعرف بحال من الأحوال ما إذا كان شيء  
يجذبنا إلى الخلف أو أن قائد السفينة جعلها تسارع إلى الأمام .  
فليس هناك من طريقة نستطيع أن نفرق بها ما بين الجاذبية والتسارع .  
ويسمى أينشتين هذه الظاهرة « قانون التكافؤ » بين الجاذبية والتسارع .

قانون الجاذبية عند أينشتين :

مع أن أينشتين لا يعرف بوجود شيء اسمه قوة الجاذبية بالشكل  
الذي وضعه فيه نيوتن ، إلا أنه يسمي قانونه هذا « قانون الجاذبية » .  
وهذا القانون يحدد مسار الأجسام التسارعي في الفضاء المحدب الرباعي  
الأبعاد .

وإذا ما ألقينا نظرة أخرى على قانون نيوتن نجد أنه مكون من أربعة  
عوامل فقط :

$$\text{قوة الجاذبية} = \frac{M \times m}{r^2}$$

ث = ثابت ، ك = كتلة الجسم الأول ، م = كتلة الجسم الثاني ،  
م = المسافة .

وإذا ألقينا نظرة على جسم منتظم التحدب ثلاثي الأبعاد ، فإننا نستطيع  
أن نحدد أي نقطة فيه برقم واحد (أي نحتاج إلى عامل واحد) هو بعد  
هذه النقطة عن المركز (أو نصف القطر) .



ولكن تحديد مسار نقطة في فضاء محدب ذي اربعة ابعاد ( أي قانون جاذبية آينشتين ) يحتاج إلى عشرين عاملاً ، لكي يحدد كل نقطة فيه ونوع التواءها ومدى التواءها ... إلى آخره ، مما يعلمه آينشتين والمتخصصون في الرياضيات العليا .

وسوف لا نورد معادلة قانون آينشتين في هذا البحث ، لأنها تحتاج إلى حسابات معقدة هي أعلى من مستوى هذا الكتاب .  
على أية حال ، فإذا شئنا أن نعدل قانون نيوتن بحيث نحصل على نتائج قانون آينشتين ، فافئنا سنجد أنه كما يلي :

$$\text{قوة الجاذبية} = \frac{G \times M \times m}{r^2}$$

ومن هذا يتبين لنا أن الفرق بين القانونين في النهاية ضئيل جداً ، وأن قانون نيوتن كان قريباً جداً من الحقيقة ، ولهذا السبب عاش قرن ونصف قرن من الزمن .

خلاصة القول ، أن من يرفضون قانون نيوتن من علماء الفيزياء لا يرفضونه للفرق الضئيل جداً بينه وبين قانون آينشتين ، فضالة هذا الفرق لا تكاد تكون ملحوظة ، إنما يرفضونه لأنه يضع أمامهم لغزاً حسياً ، إذا اطلع عليه الانسان يقول : وكيف جاءت قوة الجاذبية هذه ؟

وهم يقبلون قانون آينشتين لأنه يعطي صورة هندسية للكون ، عامة شاملة ، ومن خلال هذه الصورة يستنتج الفيزيائي المسار الهندسي للجسم في الفضاء المحدب ، وإذا اطلع الانسان عليه يقول : وكيف يمكن أن يكون غير هذا ؟

## البراهين

### البرهان الاول : صحة قانون الجاذبية :

إن قانون نيوتن وقانون آينشتين متقاربان جداً في معظم نتائج المسائل التي يحلانها . والفرق الضئيل لا يثبت صحة احدهما ولا يطلان الآخر . ولكن حينما تعارض القانونان تعارضاً يبنياً ملموساً نجد أن قانون آينشتين هو الصحيح .

لقد مر بنا أن الحضيض الشمسي للكوكب عطارد يدور حول الشمس بمقدار ٥٧٤ ثانية كل قرن من الزمن . وقد حاول العلماء جهدهم أن يفسروا ذلك بحسب قانون نيوتن ، فاستطاعوا أن يفسروا ٥٣١ ثانية ، وبقيت الثلاثة والأربعون ثانية الأخرى معضلة من معضلات الفيزياء الكلاسيكية ، ووقف قانون نيوتن أمامها عاجزاً .

أما قانون آينشتين في الجاذبية ، فإنه حلها حلاً عجبياً ، وعند تطبيقه على دوران عطارد يعطينا الجواب الصحيح ٥٧٤ ثانية كل قرن . وكان هذا أول برهان على صحة النظرية النسبية العامة . وهذا الحل بالذات هو أكثر الدلائل اقناعاً نظراً للفرق الكبير الملموس بين الواقع وبين نتائج نيوتن .



## البرهان الثاني : الضوء الأحديب :

بعد أن شطبت النسبية على قوة الجاذبية ، وبعد أن حدثت لنا القضاء بمكانه وزمانه ، أي حدثت لنا الكون كله ، ترى من الواجب عليها أن تؤدي مهمتها على الوجه الأكمل فتجذب لنا ما يمكن أن نظن بأنه لا يزال مستقيماً ، ألا وهو الضوء . ونصبح وليس أمام أعيننا شيء في هذا الوجود دون تجديب والحمد لله .

وأظن القارئ لا يتردد في الاشتراك مع الكاتب في تقديم الشكر الوفير لأينشتاين على فكرته النيرة ونظرته الثاقبة . ألا ترى أن كل شيء أمامنا في هذه الحياة ملتحق متعرج ؟ ألا ندرك أن الاستقامة في غالب الأحيان لا توصل الإنسان إلى شاطئ السلامة ؟ ألا نعلم تمام العلم أن الذين يتلقون الضربات واللكمات على أنوفهم وقمم رؤوسهم هم أولئك الذين يسيرون في خط مستقيم ؟ ألا يصف الناس الرجل الذي يتمسك بالمثل العليا في كل لحظة من لحظات حياته بأنه « أهبل » ؟ ألا ترى أن رجلاً كهذا يتحطم رأسه على صخرة الحياة كل يوم ؟ ألم تعلمنا الحياة أن أساليب الكف والدوران هي أقصر الطرق لبلوغ الأهداف ؟

فإذا كانت هذه هي حقائق حياتنا العسادية ، وجاء أينشتاين ليقول لنا بأن الكون كله ملتحق منحن متعرج ، وأن الاستقامة لا وجود لها فيه ، وأن أقصر الطرق هي الخطوط الملتوية المنحنية ، ألا تكون له من الشاكرين ؟

وستكون نظريته أقوى وأقرب إلى الحياة إذا جذب لنا كل شيء مستقيماً.. حتى شعاع الضوء !

تقول النسبية العامة بأن مجال الجاذبية الكائن حول كتلة في الفضاء ، يشد إليه شعاع الضوء باتجاه مركز التجذب . وسواء أردت أن تعتبر هذا الأثر ناشئاً عن تجذب الفضاء نفسه أو عن مجال الجاذبية ، فالواقع أن

لا فرق بين التعبيرين في النظرية النسبية العامة . لكن دعنا نتكلم عنه بلفظ الجاذبية ، مع أننا أصبحنا نعرف الآن أنها ليست قوة وإنما هي مسار هندسي .

وكما أن الأرض تجذب الرصاصة أو السهم السائر في مجال جاذبيتها ، كذلك نجد أن الكوكب أو النجم يجذب شعاع الضوء السائر في مجال جاذبيته . لكن قد يكون أمراً عادياً أن نتكلم عن جذب الأرض للرصاصة أو السهم ، فأشياء كهذه لها وزن حتى وهي طائفة في الفضاء ... أما الضوء ... !!

ولكننا قلنا في النظرية النسبية الخاصة عندما كنا نبحث موضوع الطاقة والكتلة ، بأن للضوء وزناً ، وقلنا بأن وزن الضوء الذي تصدره الشمس (  $1.0 \times 10^{27}$  ) طناً كل يوم .

والآن نريد على ذلك قائلين بأن هناك نظرية تحدثنا بأن الضوء مكون من أجسام صغيرة تسمى « فوتونات » . وهذه الفوتونات تسير بسرعة ١٨٦٣٠٠ ميلاً ثانية . والفوتونات كتلة وإن كانت صغيرة جداً . ولذلك فإن وقوع الفوتونات على سطح ما يحدث ضغطاً ، وهي بذلك شبيهة بقطرات المطر التي تحدث ضغطاً أثناء انهيارها على سطح البيت . والظاهرة هذه معروفة في الفيزياء باسم الضغط الإشعاعي . وهو ضغط قليل جداً نظراً لصغر حجم الفوتونات . والقسم الضئيل جداً من أشعة الشمس الذي يقع دائماً على نصف سطح الكرة الأرضية يبدل ضغطاً يقدره العلماء بمئة وستين طناً . وقد يتوقع القارئ أن تبعد الأرض قليلاً قليلاً عن أمها الشمس نتيجة هذه القوة التي تطردها عنها باستمرار . لكن ليطمئن بالأمر ، فالقوة التي تحفظ الأرض في مدارها أقوى من ذلك بأضعاف مضاعفة .

وقد رأينا فيما سبق ، عندما بحثنا المصعد الكهربائي المتسارع أن الضوء



ينحني فيه حسب التسارع ( شكل ٣٤ ) . ولاحظنا الظاهرة نفسها في الأرجوحة الدائرية ( شكل ٣٥ ) . وإذا أعدنا النظر إلى السفينة الفضائية ( شكل ٣٦ ) فإننا نرى فيها أيضاً أن شعاع الضوء الآتي من نجم بعيد سوف ينحني ويراه الركاب داخلها منحنيًا . وهكذا فإننا نرى أن هذه الظاهرة موجودة في جميع أشكال التسارع .

وبناء على قانون التكافؤ بين الجاذبية والتسارع ، فيجب أن ينحني الضوء في مجال الجاذبية .

ولكن كل بحثنا عن انحناء الضوء أثناء التسارع في الحالات السابقة كان نظرياً فقط . ولن نقنع عند بحث الجاذبية بهذه الحجج النظرية وحدها .

إذن ما هي الوسيلة العملية لمعرفة انحناء الضوء عندما يمر في مجال الجاذبية ؟

إذا أردنا أن نسير على هدى في قضية شائكة كهذه ، كان علينا أن نعرف وزن شعاع الضوء ! وهكذا ترى بأن عينيك ، أيها القارئ ، أن العلماء المشهود لهم برجاجة العقل واتزان التفكير ، يحاولون أن يعرفوا وزن شعاع من الضوء ! فيجب أن لا نستغرب أمراً في هذا الوجود ! إننا نستطيع أن نعرف وزن سهم سائر في الفضاء ، أو وزن رصاصة منطلقة في الجو ، وذلك إذا ما التقطنا السهم أو الرصاصة ، ووضعنا كلاهما في الميزان . ( وأرجو من القارئ أن لا يحاول تطبيق هذه التجربة عملياً ، فيمد يده للسهم أو الرصاصة وهما منطلقان ) .

أما الفوتونات ، فلم يستطع عالم من العلماء ، أن يصنع شبكة بصطادها بها . وبالإضافة إلى ذلك ، فهم أنفسهم يقولون بأن كتلة الفوتون في حالة الراحة تساوي صفراً ! أي أنه لا كتلة له عندما يكون واقفاً ، وإذا تحرك أصبحت له كتلة !

هكذا هم يقولون !

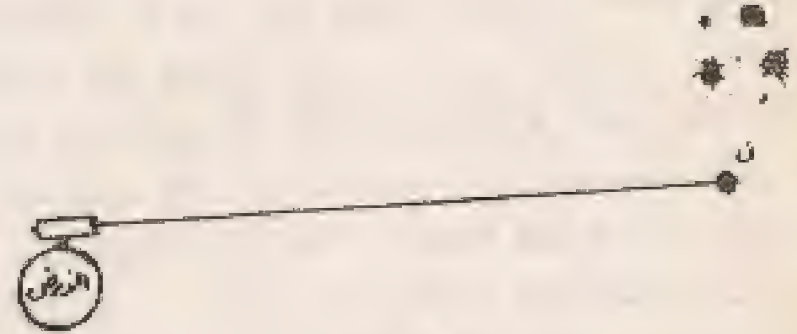
وعلى ذلك ، فإذا أردنا أن نعرف وزن الفوتون يجب أن نزنه وهو سائر في الفضاء بسرعيته البسيطة التي تبلغ ١٨٦٣٠٠ ميل - ثانية فقط ! حتى هذا الكلام الذي يبدو لنا غريباً هو أمر غير صعب على العلماء من الناحية النظرية على الأقل . فإذا كان لشعاع الضوء وزن حقاً ، وكان يتأثر بناء على ذلك بمجال الجاذبية ، فسوف ينحني في طريقه أثناء مروره بهذا المجال ، إذا كان تحذب الفضاء كافياً . أما إذا كان مجال الجاذبية لا يؤثر فيه لعدم وجود كتلة له ، فإنه يظل سائراً في خط مستقيم .

ومن المعروف في الفيزياء أن جميع الأجسام الساقطة على الأرض تهبط في الثانية الأولى ستة عشر قدماً ( بصرف النظر عن احتكاكها بالهواء ) ، وذلك حسب قانون التسارع الذي مر ذكره . وعلى ذلك ، فإذا أطلقنا شعاعاً من الضوء لكي يسير محاذياً لسطح الأرض المستوي مدة ثانية واحدة فسنبعد بعد انتهاء الثانية أن الشعاع قد مال إلى جهة سطح الأرض ستة عشر قدماً . وهذا اختبار بسيط جداً من الناحية النظرية إذا ما وجدنا السهل المستوي الذي يسير فيه الضوء ثانية واحدة . ولكن الضوء يسير في الثانية ١٨٦٣٠٠ ميل ، أي أنه يدور حول الكرة الأرضية سبع مرات في هذه الفترة . لذلك أصبح من المستحيل أن نجري هذا الاختبار على سطح الكرة الأرضية وذلك لضيق مساحتها الشديدة بالنسبة لمتطلباته .

مهما يكن من أمر ، فإن في نظامنا الشمسي كتلة مجال جاذبيتها أكبر من مجال جاذبية الأرض بأضعاف مضاعفة - ألا وهي الشمس . وسيكون انحناء الضوء عندها تبعاً لذلك أكبر مما هو في الأرض . فالشمس أكبر من الأرض ٣٣٠٠٠٠ مرة ومعدل كثافتها ربع معدل كثافة الأرض ، فيكون أثر مجال الجاذبية فيها أقوى منه في الأرض بسبع وعشرين مرة ، وأقوى منه في المشتري ( أكبر الكواكب ) بأكثر من عشر مرات . أي أن مجال الجاذبية في الشمس أقوى منه في أي جسم آخر في نظامنا الشمسي . وسيكون انحناء الضوء في هذا المجال أكثر منه في أي محل آخر .



وعلى ذلك ، فالشمس أحسن مقياس لوزن الضوء حسب معرفتنا .  
 وشعاع الضوء في اختبارنا الذي نريد أن نجريه يجب أن يكون قادماً  
 من نجم بعيد طبعاً ، لا وجود لأجرام سماوية أخرى بيننا وبينه لتعيق  
 مجرى شعاعه أو تؤثر عليه . ومن المفروض ساعدنا أن يكون الشعاع آتياً  
 في خط مستقيم من ذلك النجم إلى عين الراصد ، كما هو في الشكل (٣٧)  
 وسوف يرى الراصد هذا النجم بالنسبة إلى النجوم الأخرى المحيطة به ،  
 ويقدر موقعه منها .

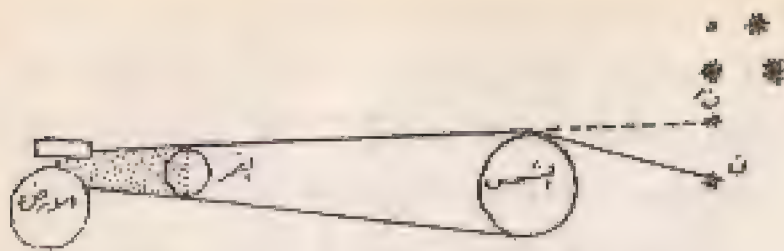


( شكل ٣٧ )

النجم المرصود

وعلياً بعد معرفتنا لهذه الأمور أن نتظر حتى تدور الأرض في مدارها  
 وتأتي إلى موضع من المدار تكون فيه الشمس ما بيننا وبين هذا النجم ،  
 بحيث يمر شعاعه مماساً لسطحها قبل أن يقع على عين الراصد ، ومن ثم  
 نقدر فيما إذا كان قد انحنى أم لم ينحني .

ولكن الصعوبة في اختبار كهذا ، هي أن النجم الذي يكون وراء  
 الشمس بحيث يمر شعاعه مماساً لسطحها لا يمكن أن نراه بحال من الأحوال  
 نظراً لشدته وبريقها وتوهجها في عين الرائي . والحل الوحيد لهذه المشكلة هو  
 أن نراقب هذا النجم أثناء كسوف كلي للشمس ، عندما يغطي القمر كل



( شكل ٣٨ )

انحناء الضوء المماس للشمس

ضوئها ، فتصبح مظلمة أمام أعيننا ، ونستطيع في هذا الوقت أن نرى  
 النجم الذي يأتي شعاعه مماساً لسطحها . شكل (٣٨)

لهذا السبب ، فإن أينشتاين عندما نشر النظرية النسبية العامة قال بأن  
 هذا الأثر يجب البحث عنه أثناء الكسوف الكلي للشمس .

وبما أن انحناء ضوء النجم الذي يمر الشمس يكون ضئيلاً جداً ،  
 لذلك من الضروري أن تؤخذ صور غاية في الدقة . ولهذا السبب تؤخذ  
 صور دقيقة تبين موضع النجم بالنسبة للنجوم الأخرى أثناء الكسوف ،  
 ثم تؤخذ صور أخرى تبين موضعه بالنسبة للنجوم المجاورة عندما لا تكون  
 هناك شمس في الطريق . وسوف نجد أثناء الكسوف أننا نرى النجم ن  
 بدلاً من ن في الشكل (٣٨) . أي أن موضع النجم ن قد تغير بالنسبة  
 للنجوم الأخرى أمام أعيننا . هذا إذا صحت النظرية النسبية العامة وكانت  
 الشمس تجذب الفضاء وتحني الضوء في مجال جاذبيتها .

وقد قال أينشتاين في نظريته أن الضوء الذي يمر سطح الشمس  
 ينحني بمقدار ١,٧٤ ثانية .

وقد نشرت النظرية النسبية العامة سنة ١٩١٦ ، وفيها هذا التنبؤ .  
 وحدث أول كسوف كلي بعد ذلك في ٢٩ أيار سنة ١٩١٩ . وكان هذا  
 الكسوف في هذا الموعد ملائماً تماماً للتجربة ، لأن الأرض والقمر والشمس  
 تكون كلها على خط مستقيم مع مجموعة من النجوم الثلاثة في آخر أيار



من كل سنة . وبناء على ذلك تأهبت بعثتان بريطانيتان لهذا الغرض ، ذهبت بعثة منهما إلى سوبرال في شمال البرازيل ، وذهبت الأخرى إلى جزيرة برنسيب في خليج غينيا . وأخذت كلتا بعثتي عددًا من الصور للنجوم المجاورة للكسوف ، وعندما عادتا إلى بريطانيا قارنتا هذه الصور بصور أخرى للنجوم نفسها . عندها لا تكون الشمس في جوارها .

ووجدت بعثة سوبرال أن معدل انحناء الضوء ١,٩٨ ثالثة ، بينما وجدت بعثة برنسيب أن انحناءه ١,٦ ثالثة . وقرب هذين الرقمين من الرقم ١,٧٤ الذي أعطاه أينشتين كان كافياً لإثبات هذا الأمر . أما الفرق ما بين الرقمين والرقم الذي حدده أينشتين بحساباته ، فيمكن أن نعزوه إلى الأجهزة التي تستعمل للقياس . فأمور دقيقة حساسة كهذه تنبسط الجزء في المئة من الثالثة ( ونحن نعرف الآن ما هي الثالثة ) لا تستطيع الأجهزة أن تعطينا الرقم الصحيح تماماً ، وإنما تعطينا رقماً تقريبياً ضمن حدود معينة من الخطأ المسموح به في هذه الحالات .

وقد قامت بعثات أخرى فيما بعد ، وأجرت التجربة نفسها وحصلت على نتائج مماثلة .

ومن الجدير بالذكر أننا لو استعملنا قانون نيوتن في هذا الموضع من حيث جذب الشمس لكتلة الفوتون فسنحصل على قيمة لانحناء شعاع الضوء هي نصف القيمة التي نحصل عليها من تطبيق قانون الجاذبية النسبية . وسيلان انحناء الضوء الذي يمر سطح الشمس ٠,٨٧ ثالثة . لكن جميع التجارب التي أجرتها مختلف البعثات كانت تعطي نتائج أكبر من هذه بكثير ، وفي حدود القيمة التي يعطيها أينشتين . وهذا الاختبار يظهر لنا الفرق الضئيل بين قانوني نيوتن وأينشتين ويرجح صحة الأخير .

وما دامت الكتل تجذب الضوء إليها بشكل من الاشكال ، ألا يتبادر إلى ذهن القارئ أن يسأل السؤال التالي : وكم ستكون كتلة النجم الذي فيه من الجاذبية ما لا يسمح بإفلات أي شعاع من الضوء بحيث لا يستطيع

الأشعة أن تتركه لأن جاذبيته تحفظها في حوز حرير ؟ إن العلماء يقدرون أن نجماً بحجم الشمس إذا بلغت كثافته ٤٠٠,٠٠٠ مرة كثافة الشمس ستكون لديه صفة من هذا القبيل . فإذا ما وجدت نجوم كهذه فإننا لن نستطيع أن نراها إطلاقاً ، مهما كانت قريبة منا ومهما كانت متوهجة ! وقد تكون هناك نجوم كهذه لا نعلم عنها شيئاً !

سؤال على السؤال (التقويم السور)

### البرهان الثالث : تباطؤ الزمن عند ازدياد الكتلة

نتيجة أخرى من نتائج النظرية النسبية العامة هي أثر الكتلة في سير الزمن .

لقد مررنا بنا في النظرية النسبية الخاصة أن الزمن يتباطأ بزيادة السرعة إن تباطؤاً مماثلاً يحدث نتيجة وجود كتل كبيرة . فجميع العمليات الميكانيكية والكيميائية والحيوية تتباطأ عند ازدياد الكتلة . فالزمن في المشتري (أكبر الكواكب) أبطأ منه في الأرض ، وفي الشمس أشد ببطأ . وقد حسب أينشتين الزمن في الشمس فوجد أن الثانية هناك تساوي ١,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٢ ثانية على الأرض . أي أننا لو تمكنا بشكل من الاشكال أن نضع ساعتين سحريتين متماثلتين احدهما على الأرض والأخرى على الشمس وقارنا بينهما فإننا سنجد بعد ٥٠٠,٠٠٠ ثانية (أي حوالي ستة أيام) أن الساعة الشمسية قد أخرجت ثانية واحدة .

وليس لدينا بالطبع وسيلة نضع فيها ساعة في الشمس لأن حرارتها ستذيب الساعة وواضعها . ولكن سبق وقلنا أن هناك ساعات ذرية نعرف بها الزمن من تذبذب الذرات . وأظن القارئ لا يزال يذكر اختبار آيف الذي ورد ذكره لإثبات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية الخاصة . إن الضوء القادم إلينا من الشمس مسيب عنذبذة أنواع مختلفة عديدة من الذرات ، فإذا عرفنا سرعة ذبذبتها بطريقة من الطرق ، وقارناها



بسرعة ذبذبة الذرات المماثلة على سطح الأرض ، استطعنا أن نقارن سير الزمن هنا بسيره هناك . فإذا كانت ذبذبة الذرات في الشمس أقل من مثيلاتها على الأرض كان معنى ذلك أن الزمن في الشمس أبطأ منه على الأرض .

وسرعة ذبذبة الذرات يمكن أن نستدل عليها من المحلل الطيفي الذي سبق وصفه في النظرية النسبية الخاصة . فازدياد السرعة ينقلها إلى جهة البنفسجي وتباطؤها ينقلها إلى جهة الأحمر .

وقد حاول العلماء أول الأمر أن يلاحظوا هذه الظاهرة في التحليل الطيفي لضوء الشمس . ولكن انتقال الضوء إلى جهة الأحمر كان طفيفاً جداً لا يكاد يكون ملحوظاً . ولذلك لم يستطيعوا أن يتخذوا دليلاً على صحة النظرية من تجربة مشكوك فيها .

وتحولت أنظار العلماء بعد ذلك إلى نوع من النجوم يسمى الاقزام البيضاء . وهذه الاقزام صغيرة الحجم إذا ما قورنت بمعظم النجوم الأخرى ولكن كثافتها عظيمة جداً . وأحد هذه الاقزام اسمه مرافق الشعرى البائية ، وقطره يبلغ ٣ بالمئة من قطر الشمس ولكن كثافته ٢٥٠٠٠ مرة أكثر من كثافتها . وفي نجم كهذا يبلغ وزن المتر الواحد من مادته سنة وثلاثين طناً ! وبمدي التباطؤ في ذبذبة الذرات فيه يبلغ ثلاثين مرة عما هو عليه في الشمس . وتحليل ضوءه الطيفي وجد أن انتقال الضوء كان واضحاً تجاه الأحمر وبالقدر المتوقع .

وهكذا أصبح هذا الاختبار دليلاً قوياً على صحة النظرية النسبية العامة ، بالإضافة إلى الأدلة الأخرى .

\*\*\*

ويجب أن لا يغيب عن بالنا أثناء بحثنا لأثر مجال الجاذبية على تباطؤ الزمن ، أن هذا التباطؤ يكون أكثر ما يكون في مركز التحديق أو مركز المجال . ويخف هذا الأثر تدريجياً كلما ابتعدنا عن المركز ، وذلك لأن

تحدب الفضاء نفسه يخف تدريجياً حتى يتلاشى . وقد سبق وشرحنا ذلك عندما ضربنا المثل بالهلام الذي يملأ الوعاء الزجاجي .

وبناءً على ذلك ، فإن تباطؤ الزمن في مركز الشمس أكثر منه على سطحها ، وهكذا فكلما ابتعدنا عن المركز قل التباطؤ .

وبالمثل ، فإذا أخذنا الأرض مثلاً ، فسيكون الزمن في مركز الكرة الأرضية أكثر تباطؤاً منه على سطحها . حتى على السطح نفسه فإن الزمن يختلف حسب المرتفعات والمنخفضات . فهو في السهل أبطأ منه على قمم الجبال . وسيكون أبطأ مكان مأهول يسير فيه الزمن على سطح الكرة الأرضية هو غور الأردن ومدينة أريحا التي يعيش فيها كاتب هذه السطور . فقد خلقها الله تحت مستوى سطح البحر بحوالي أربعمئة وخمسين يارداً . وبناءً على ذلك ، فالقاطنون في أريحا يهرمون أقل مما يهرمون القاطنون في عمان والقدس . وذلك لأن مرور الزمن عندهم أبطأ . فإذا كنت أيها القارئ راغباً في إطالة عمرك والاستمتاع به بضعة ثوان زيادة عن عمرك العادي فاقبل نصيحة أينشتاين واذهب للسكنى في أريحا ذات الزمن الطويل . ولكني أود أن ألفت انتباهك إلى أن شمس الصيف فيها تأخذ وقتاً أطول وهي تشوي ظهور قاطنيها .

وقد يحسب القارئ أن هذا الكلام سطحية من سطحاتنا التي اعتدناها بين الآونة والأخرى . ولكن العلماء فعلاً حاولوا جهدهم أن يكتشفوا الفرق في سير الزمن على سطح الأرض نفسها . وقد نجح موسباور Müssbauer الأستاذ في جامعة ميونيخ حالياً ، في إيجاد طريقة لهذا الغرض . فقد تمكن من إيجاد أشعة جاما ذات ذبذبة صافية جداً ، بحيث يمكن قياس ذبذبتها بدقة متناهية ومعرفة التغير فيها مهما كان ضئيلاً . وبناءً على اكتشافه هذا ، استطاع علماء آخرون أن يجدوا الفرق في ذبذبة هذه الأشعة إذا ما تغير موضع ارتفاعها عن الأرض بمدي بضعة عشرات من الأقدام ! وهذا الفرق هو بالضبط ما تنبأ به حسابات النظرية العامة .



الكنون



## هَذَا الْكَوْنُ

إن المرء لا يفكر عادة في الكون إلا إذا بلغ به الحق أشده من تصرفات بعض عباد الله الذين يضطرونه مرغماً إلى اللجوء إلى هذا النوع من التفكير . ونجد في كثير من الأحيان تصرفات من بشر يتساءل الإنسان بعدها : ولم يخلق الله هؤلاء البشر في هذه البقعة من الكون ؟

قال صديق الذي أوليته ثقتك فكان غير أهل لها ، واعتبرك غيباً لأنك وثقت به ، والرجل الذي يتشدد بالمبادئ طالما كانت المبادئ تجارة رابحة بين يديه ، والتاجر العربي الذي يقدم لك البضائع الفرنسية ويضع يده مرتباً عليها قائلاً : « مصنوعات باريس » وكله الفخر والاعتزاز حتى تخال أن باريس اسم أمه أو أبيه ، والقوم الذين يرفعون القومية العربية شعاراً في بعض المناسبات ، فإذا جاءت مناسبة أخرى ، وتوهموا أن لديهم بعض السلطة ، جاءوا إلى من يؤمنون حقاً بهذه القومية وسحلوهم سحلاً أو دفنوهم أحياء - كل هؤلاء ، وأمثالهم كثير يجعلونك ترى أن الكون ضيق جداً على سعته ، بحيث لم يعد فيه منسج للخلق الكريم .

علي أية حال ، فإن ذكر الكون يخطر ببالك مرات عديدة كل يوم ، لكن في ظروف غير محبة في العادة . أما أولئك الذين يجلسون إلى أنفسهم





وهم في غاية الهدوء وتمالك الأعصاب ويفكرون في طبيعة الكون وامتداده ونهايته ، فهؤلاء نسميهم في الغالب فلاسفة . فإذا كنت أيها القارئ ممن يفكرون في خلواتهم في هذه الأمور ، فيحق لك أن تعتبر نفسك فيلسوفاً .

مهما يكن من أمر ، فإن البحث في نهاية الكون وحدوده وشكله الكلي هو أقرب إلى الفلسفة منه إلى العلم ، أو إن شئت ، قلنا هو فلسفة العلم ، وذلك لعدم وجود اثباتات كافية للنظريات التي تظهر في هذا الشأن . والنظريات نفسها في هذه الحالة تصبح مجرد تكهنات لا أكثر ولا أقل . والنظرية التي تنسجم مع واقع المعلومات الفلكية هي التي تؤخذ على أنها صحيحة .

وسوف نرى فيما يلي أن العلماء قد وضعوا للكون نماذج عديدة ، يختلف كل نموذج حسب رأي العالم الذي وصفه . وسوف نجد أن تقدم المعلومات الفلكية هو العامل الرئيسي في تدعيم صحة هذا النموذج أو ذاك .

والصعوبة هنا ترجع إلى أننا ، في هذه الحالة ، نريد أن نبين شكل الكون ككل ، وهل هو متناه أم لا نهاية له ، وهل هو محدد أم ليست له حدود — أي أننا نريد أن ندرس جغرافية مناطق لا نراها ولا نحلم في المستقبل أن نراها ، ونريد أن نرسم خريطة لهذه المناطق ونحن لا نعرف عنها شيئاً ولا نستطيع أن نحدد موقعها منها .

وإذا كنا نعني بالمناطق أطراف الكون ، فيكون قصدنا الآن أن نرسم خريطة لشيء لا نعرف إذا ما كان موجوداً أم غير موجود .

فحينئذ أدركنا التلسكوب نجد نجوماً ومجرات درسها الفلكيون وحددوا معالمها وأعطوها أسماءها وقدروا أبعادها النائية جداً بالملايين والbillions ( البليون هو ألف مليون ) من السنوات الضوئية .

ولكن الفلكيين مهما كلدسوا من اصفار امام ارقام السنوات الضوئية ، ومهما بعد مدى النظر الذي يزونه في تلسكوباتهم ، فإنهم يقفون عند حد

معين ويقولون « إننا لا ندري ما وراء ذلك » .

وعلينا أن نعتبر أن أرقام الفلكيين التي يحددون بها هذه الأبعاد هي أرقام علمية ما دام تحديدها يقوم على أساس علمي .

أما ما وراء الحد الذي تصل إليه تلسكوباتهم فسيكون موضع التكهن وسيكون فيه مجال للخطأ غير قليل ومجال للفلسفة غير قليل أيضاً .

وعند بحث كهذا يقف العقل الانساني عاجزاً ويقف العلم مكتوف اليدين

ويبدأ العلماء يتخبطون بحيط عشواء . وقد كان أينشتاين من جملة من

أدلو بدلوهم فقدم لنا نموذجاً للكون ، ولكن تبين خلال عقد من الزمن

أن النموذج الذي قدمه غير صحيح . فقد قال بأن الكون ثابت ، ولكن

الارصاد الفلكية دلت على أنه متمد . على أية حال فإن المعادلات

التي وضعها بهذا الخصوص والفضاء المتحدب الذي وصفه — كل هذا لا يزال

الأساس المثلث الذي تقوم عليه النماذج الحديثة للكون .

وإذا نظرنا إلى جميع النماذج التي قدمها العلماء ، فإننا نستطيع أن

نقسمها إلى قسمين : قسم يصف الكون بأنه ثابت ، وآخر يصفه بأنه

متمد .

ولكننا قبل أن نبحث ذلك ، علينا أن نعرف الصورة التي يرسمها علم

الفلك للمجال الواقع تحت بصره في التلسكوب ، فلعل هذا يساعدنا على

معرفة البقية البسيطة من الكون ، ويجعل تقديراتنا أقرب إلى الصحة

### اسراب من مجرات :

إن شمسنا هي احد نجوم مجرة « درب التبانة » التي تكلمنا عنها عندما بحثنا موضوع المكان في النسبية في أوائل هذا الكتاب . وقد قلنا آنذاك أن مجرة درب التبانة تتألف من عدد هائل من النجوم تبلغ حوالى مئة الف مليون نجم . وشكل هذه المجرة يشبه شكل العنسة المتفتحة في الوسط



ولها أذرع لولبية ممتدة من أطرافها . ولا نعرف للمجرة حداً فاصلاً واضحاً ولكن يعتقد أن قطر وسطها المنتفخ الذي تتجمع فيه النجوم يبلغ ثلاثين ألف سنة ضوئية ، وأن سمكها عشر ذلك المقدار من السنين الضوئية . وتقع شمسنا في أحد الأذرع اللولبية وتبعد حوالي ٢٥٠٠٠ سنة ضوئية عن مركز المجرة .

وباستطاعتنا أن نرى درب التبانة بأعيننا إذا ما نظرنا إلى السماء في ليلة صافية . إنها ذلك الخط العريض من الضباب اللامع الذي يقطع السماء من الأفق إلى الأفق . وهذا الذي نراه ضباباً ما هو إلا نجوم مجرتنا لا نكاد نميزها بالعين المجردة لبعدها السحيق . ونحن عندما ننظر إليها نراها ذات شكل مستطيل ، لأننا ننظر إليها من جانب أي ننظر إلى العدسة من طرفها .

وفي مجرتنا ، بالإضافة إلى النجوم ، كمية كبيرة جداً من الغاز معظمه هيدروجين وغبار . وربما كانت كتلة الغاز والغبار المنتشرين في المجرة تعادل كتل النجوم كلها . وهذه المجموعة من النجوم والغاز والغبار تدور حول نفسها — كما قلنا فيما سبق — حول المركز .

وليست مجرتنا هي المجموعة الفريدة من النجوم في هذا الكون . فإن هناك ملايين عديدة جداً من المجرات يقدر عددها بعدد النجوم الموجودة في مجرتنا . فحينما سلطنا التلسكوب نجد مجرات في كل اتجاه ، وتختلف أشكالها عن بعضها بعضاً في حدود معينة . فمعظمها كالعنسة المفلطحة ولها أذرع لولبية كمجرتنا ، ومنها المستدير ومنها البيضوي وهناك مجرات غير منتظمة الشكل .

وتتجمع كل بضع مجرات قرب بعضها بعضاً وتكون « مجموعة مجرية » . وقد تحتوي المجموعة على عدد كبير من المجرات قد يبلغ الألف في بعض الأحيان ، وكل مجرة تتألف من عدد ضخم جداً من النجوم مثل مجرتنا « درب التبانة » تماماً . ومجرتنا نفسها هي إحدى مجرات مجموعة تسمى

« المجموعة المحلية » . وهذه تتألف من حوالي سبع عشرة مجرة . وأقرب جار نعرفه في المجموعة المحلية هو مجرة أندروميدا التي تبعد عنا مليون ونصف مليون سنة ضوئية تقريباً . ونستطيع أن نراها بالعين المجردة ، كبقعة غباش باهتة ( طولها ضعفا قطر القمر كما يبدو لنا بالنظر إليه ) في أواسط السماء في ليالي الخريف ما بين الثريا والنجم القطبي .

ويبدو أن « مجموعة المجرات » هي أكبر وحدة تتجمع فيها المادة في هذا الكون . ولا يبدو أن هناك تجمعات أكبر من ذلك . ونقول الارصاد الفلكية أن مجموعات المجرات هذه موزعة توزيعاً عادلاً في أرجاء الفضاء ، وأن ما هو موجود منها في جزء من اجزاء السماء كما هو موجود في أي جزء آخر تقريباً . ولا يعني هذا الكلام أنها مرتبة في صفوف منتظمة ، وإنما يمكن أن نشبه توزيعها بقطرات المطر المساقطة على لوح من زجاج . إننا إذا عددنا القطرات على لوحين متماثلين نجد أن العددين متقاربان ، وليس من الضروري أن نجد الرقم نفسه تماماً على كلا اللوحين .

وبما أن مجموعات المجرات هي أكبر الوحدات الطبيعية ، وبما أننا نستطيع أن نرى عدداً كبيراً من هذه الوحدات في كل ناحية وجهنا إليها التلسكوب ، فمن المعقول جداً أن نفترض بأن القسم الذي تكشفه لنا التلسكوبات من هذا الكون هو نموذج للكون كله ، وأن بقية اجزاء الكون التي لا تراها التلسكوبات لا تختلف عما نراه في شيء . وليس من المعقول أن نفترض أن الجزء المكتشف حالياً ( مرصد جبل بالومار يكشف مجرات على بعد بليونين من السنوات الضوئية ) هو الجزء الفريد الوحيد من الكون الذي تنتشر فيه مجموعات المجرات على الشكل الذي نراها عليه فيه ، وأن نظن أن الإنسان في المستقبل إذا ما اخترع تلسكوبات أبعد مدى فسيجد صورة أخرى وشكلاً آخر للكون غير ما هو ماثل أمام أعيننا .

إننا لا نستطيع أن نقول أن أمراً كهذا هو مستحيل ، وإنما نقول بأنه



مستبعد . ولو حدث أمر كهذا لكان معنى ذلك أننا الآن في منتصف الكون المأهول وأن مجرتنا هي المركز . وليس هناك أي دليل علمي يدعونا إلى التفكير في ذلك .

إن فكرة توزيع المادة في الكون توزيعاً متناسقاً عادلاً هي فكرة قديمة قال بها العلماء قبل أن يتقدم علم الفلك ويؤديها بتلسكوباته البعيدة المدى . وتعتبر هذه الفكرة الآن فرضية أساسية وتسمى « بالقانون الكوني » **Cosmological Principle** . والقانون الكوني في الواقع ما هو إلا امتداد لفكرة كوبرنيكس . وما دما قد تنازلنا عن غرورنا وأنايتنا اللذين كنا نعتقد بهما أن الأرض هي مركز كل شيء ، فسنجد أننا لا نستطيع أن نسيغ صفة المركزية على الشمس ، فلا تعود الشمس في أعيننا إلا نجماً من نجوم عديدة في المجرة . والشيء نفسه يقال عن المجرة والمجموعة المحلية . فسوف نجد أنها عادية جداً بالنسبة لمثيلاتها ، ولا شيء يميزها أو يخصصها فيجعلها في مركز الكون .

نستنتج من ذلك كله أن الكون متناسق في توزيع مادته ، خاضع للقانون الكوني في جميع أرجائه . وبناءً على هذا المفهوم نستطيع أن نبحث رأي أينشتين في الكون .

## الكون عند أينشتين

الواقع أن العلماء قد وضعوا نماذج عديدة جداً للكون ، وصفوها ووضعوا لها المعادلات والقوانين التي تختلف عن بعضها بعضاً كل حسب وجهة نظره ، معتمداً على ما هو مكتشف في عصره من المعلومات الفلكية . ونحن لا يهمنا من هذه النماذج بالطبع إلا النموذج الذي وصفه أينشتين لأنه يعتمد في الأساس على الفضاء الذي أصبحنا نفهمه فهماً مختلفاً بعد دراستنا للنظرية النسبية . وبحسبنا في موضوع الكون أصلاً ، سيبه أنه يبحث في الفضاء الذي كان شغلنا الشاغل أثناء بحثنا في النظرية النسبية . على أية حال ، فقد جرت عادتنا أن نقارن بين المفاهيم النسبية والمفاهيم الفيزيائية الكلاسيكية . ولن نقطع هذه العادة الآن ، ولنذكر ما يقول نيوتن في الكون .

### الكون عند نيوتن :

استنتج نيوتن من خلال مفهومه الكلاسيكي عن الفضاء أن الكون مكون من مجرات عديدة تسبح في الأثير الذي يملؤه . أما ما وراء ذلك



فهو مخلو من أي شيء . وبناء على هذا الوصف نستطيع أن نعتبر أن الكون جزيرة متناهية محدودة تقع في محيط من الفضاء لا نهاية له . أي أن الكون عند نيوتن متناه ، محدود .

وقد كانت نظرية نيوتن في الكون موضع اعتراض كثير من العلماء . فهي تعني أن الضوء والحرارة اللذين يشعان من المجرات سوف يذهبان إلى الفضاء الفارغ بغير عودة . وبناء على ذلك فإن العالم يفقد طاقته باستمرار وهو سائر تبعاً للملك في طريقه إلى الفضاء .

هذا بالإضافة إلى أن نيوتن يتركنا في حيرة بشأن الفضاء الواسع الفارغ الواقع ما وراء المجرات ، فلا يتحدث لنا عن طبيعة هذا الفضاء ولا عما هو موجود خلفه .

### الكون عند أينشتين :

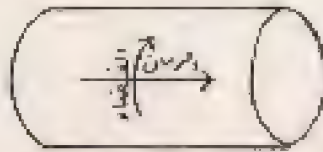
وجد أينشتين أن كون نيوتن بعيد الاحتمال إن لم يكن مستحيلًا . فإذا كان الفضاء لا نهائياً كان معنى ذلك أن معدل كثافة المادة في الكون تساوي صفراً . وقد بدت هذه النتيجة غريبة بل مستحيلة لأينشتين . ولهذا نجده يقدم نموذجاً خاصاً مبنيًا على مفاهيم النسبية .

فقد فهمنا فيما مر من حديث عن الفضاء أنه يتحدث بإبعاده الأربعة حول الكتل الكبيرة ، وقد شبهنا هذه التحدبات بالتلال والجبال داخل الفضاء . وعلى ذلك فإن المجرة التي تتكون من بلايين النجوم يمكن أن ننظر إليها على أنها مجموعة من التلال والجبال الفضائية التي تختلف عن بعضها بعضاً ارتفاعاً وانخفاضاً . وهي في تفاصيلها معقدة ، لكنها بمجموعها تكون نوعاً من المرتفع فيه قمم عديدة ووديان عديدة أيضاً . والشيء نفسه يقال عندما نلقي هذه النظرة على المجموعات المجرية .

وقد قلنا فيما سبق أن المادة موزعة توزيعاً عادلاً في هذا الكون . فإذا

نظرنا إليه في هذه الحالة نظرة إجمالية ، فإننا سنجد أن الكون في مجموعه محدب . ولكن أينشتين يرى أن هذا التوزيع العادل سوف يعطينا تحدباً في الفضاء يشمل الأبعاد المكانية الثلاثة ، ويستثنى البعد الزمني من هذا التحدب .

وتصبح صورة الكون التي يرسمها لنا أينشتين تعبر عن كرة من الفضاء تسبح فيها المجرات ، تسير في اتجاه مستقيم من البعد الزمني . وإذا ما حاولنا أن نرسم لها رسماً بيانياً فسوف تظهر لنا كما هي في الشكل (٣٩)



كون أينشتين

(شكل ٣٩)

وإذا ما انطلقنا نسير داخل هذه الكرة في اتجاه معين لا نعيد عنه ، فسنجد آخر الأمر أننا قد وصلنا إلى النقطة التي ابتدأنا منها . ومثلنا في ذلك مثل الذي يسير على سطح الكرة الأرضية في خط يتصور أنه مستقيم ، فإنه سيجد أنه أصبح يسير في الاتجاه المعاكس تماماً بعد أن يقطع نصف محيط الكرة ، وهو لا يزال يحسب أنه يسير في خط مستقيم . حتى إذا دار دورة كاملة وجد أنه قد وصل إلى النقطة التي انطلق منها .

وهذا القول نفسه لا ينطبق علينا نحن إذا انطلقنا في الفضاء وحسب ، بل ينطبق أيضاً على الضوء . فإن تحدب الفضاء حول الكتل الموجودة فيه كتميل بأن يجعله ينحني في مسيره حتى يصل آخر الأمر إلى النقطة التي صدر منها ، والضوء المسكين يحسب أنه يسير في خط مستقيم !



وعلى ذلك فالكون الذي نعيش فيه مغلق على نفسه ، لا نستطيع أن نجد له حداً ، لأننا لن نجد شيئاً يوقفنا إذا ما أخذنا نسير فيه . ولكنه متناه لأننا إذا انطلقنا إلى أية جهة كانت فإننا نصل إلى النقطة التي انطلقنا منها أول الأمر .

وقد قدر أينشتاين أن يكون لنصف قطر الكون علاقة بالجذر التربيعي لمربع الكثافة فيه . وكان تقديره لنصف القطر بناء على ذلك  $2 \times 10^{23}$  ميلاً . وإذا كان تحذب الكون بالشكل الذي يصفه به أينشتاين صحيحاً ، كان معنى ذلك أننا إذا اخترعنا في المستقبل التلسكوب عملاقاً ضخماً يرى أقاصي الكون ، وأخذنا ننظر في عذسته ، فسوف نرى في أعماق أعماق الكون ... أنفسنا ، وسوف نندهش كم سنكون بعيدين عن أنفسنا !!! وسوف يكون هذا الكلام صحيحاً ، إذا تغاضينا ، بالطبع ، عن الزمن الذي يستغرقه الضوء الصادر عن وجوهنا في دورانه حول الكون . وأظن أن القارئ لن يلوينا إذا تغاضينا عن بضعة بلايين من السنين في سبيل أن نرى نفسه في التلسكوب وقوة الضوء الصادر عن مجاه بعد دورة بسيطة كهذه !

المهم في الأمر أن أينشتاين وضع معادلاته وقوانينه المعقدة لكي يصف الكون كما استنتج أن يكون شكله وطبيعته بناء على مفاهيمه النسبية عن الكتلة وتوزيعها في الفضاء المنحذب . والصورة التي يعطينا إياها بعد الشرح الطويل والمعادلات المتشابكة هي أن الكون متناه ، لا حدود له ، مغلق على نفسه ، ثابت الحجم ، منحذب بإبعاده المسافية الثلاثة ، أما البعد الزمني فهو يسير على محور مستقيم الاتجاه ولا يشارك الأبعاد الأخرى تحذبها . ومع أن العلماء يشهدون بمقتضى المعادلات التي وضعها ، والأسس الثابتة التي تقوم عليها ، ومع أن هذه المعادلات لا تزال مستعملة حتى الآن في النماذج الحديثة التي ظهرت للكون ، لكن يظهر أن أطراف الكون وشكله هي أبعد من أن يصل إليها حتى أينشتاين .

## الابرار : التحذب

لم يكده يطلع أينشتاين على العالم بنظريته عن الكون حتى انبرت المراضد الفلكية - صاحبة النقص والابرار في هذه القضايا - تحاول أن تنفي أو تؤيد صحتها .

وقد حاول الأستاذ هابل Hubble مدير مرصد جبل ولسون في كاليفورنيا أن يرى فيما إذا كان الفضاء متحذباً حقاً ، وفيما إذا كان التحذب إيجابياً أم سلبياً .

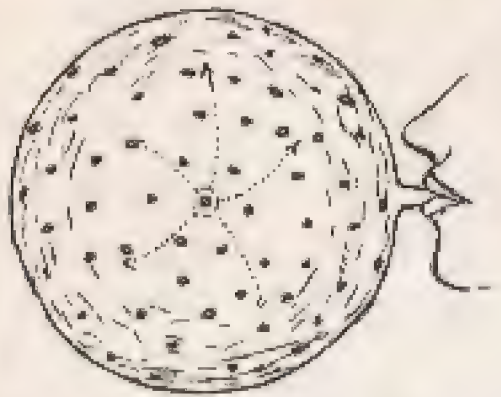
ولجأ في ذلك إلى صفة نعرفها الآن تمام المعرفة يتميز بها كل من هذين التحذبين عن الآخر ( شكل ٣١ ) . فقد عرفنا في السطوح أن عدد العلامات الموزعة توزيعاً عادلاً يزيد في السطح المنحذب تحذباً سلبياً أكثر من زيادة مربع ذلك السطح ، وفي التحذب الإيجابي أقل من زيادة المربع فيه . والشيء نفسه يقال عن الحجم . فإن عدد العلامات الموزعة في حجم ما توزيعاً عادلاً يزيد أقل من الزيادة في مكعب ذلك الحجم إذا كان التحذب إيجابياً وأكثر منه إذا كان سلبياً .

وقد اعتبر الدكتور هابل أن المجرات هي العلامات الموزعة توزيعاً عادلاً في الفضاء . وقام بحساب توزيعها فوجد أنها تزداد أقل من زيادة مكعب المسافة ، مما يدل على أن الفضاء متحذب تحذباً إيجابياً وأنه متناه مغلق على نفسه .

ولكن هذه النتيجة التي أوصلنا إليها لا نستطيع أن نعتبرها نتيجة نهائية ، لا لأن هناك خطأ في حسابات هابل ، وإنما لاحتفال آخر . وذلك أن تقدير أبعاد المجرات البعيدة بعداً ساحقاً يقوم فقط على مقدار اللامعان الظاهري الذي يراه الراصد في التلسكوب . ومن المفروض أن اللامعان في المجرات متساو ضمن حدود معينة . ولكن هذا الفرض قد يقودنا إلى خطأ كبير إذا كان اللامعان يتغير بمرور الزمن . ولا يغرب عن بالنا أن



ان اختها القريبة تبعد عنها بسرعة معينة ، ولكن النقط الأخرى تزداد سرعة ابتعادها كلما ازداد بعدها . وهكذا تتوهم كل نقطة أنها أصيبت بداء تنفر منه الآخرين . شكل (٤٠) .



شكل (٤٠)

وهكذا أيها القارئ ، فإن المجرات تتباعد عن بعضها ، والفضاء يتمدد وينتفخ . ونحن لنا أن نحمد الله على أن الفضاء غير مصنوع من المقاطع ، إذن لا تفجر منذ أمد بعيد .

من المجرات التي يراها تلسكوب جبل ولسون ما يقع على ابعاد مسحيقة جداً ، فمنها ما يبعد مئة مليون سنة ضوئية ومنها مئتي مليون وابتعادها خمسمائة مليون سنة ضوئية . ومعنى ذلك أننا نرى النور الصادر عنها منذ هذا العدد من السنين ، وإذا الآن نرى لمعانها كما كان في تلك العهود . أما ما تم في أمرها الآن ، وهل قل لمعانها أم قل على ما هو عليه ، فهذا ما لا علم لنا به ، ولا نحلم أن ندركه بالطرق المباشرة . إن تغيير اللامعان ولو شيئاً بسيطاً جداً سوف يجعلنا نقدر مسافات أخرى غير التي قدرناها ، وسوف نحصل على نتائج أخرى قيد نجد فيها أن الكون محدب تحديداً سلبياً ١٩

أما إذا كان اللامعان لا يتغير في هذه الفترات الطويلة العهد ، فإن تحديب الفضاء تحديداً إيجابياً يكون قد ثبت .

لكن الأستاذ هابل الذي أبرم قضية التحديب ، طلع على العالم سنة ١٩٢٩ باكتشاف خطير نقض به كل النماذج الثابتة التي وصفها كل العلماء السابقين بما فيهم نيوتن وأينشتاين .

فبينما كان يسجل أطراف الضوء القادم من المجرات البعيدة ، وجد أن الطيف يميل إلى جهة الأحمر ، ويزداد ميلان الطيف كلما ازداد بعد المجرة . ولم يكن أمامه وأمام غيره من العلماء إلا تفسير واحد غريب صعب التصديق . وذلك أن المجرات كلها تنفر من بعضها بعضاً وتهرب من بعضها بعضاً بسرعات خارقة مستهجنة حتى على العلماء الفلكيين أصحاب الأرقام العجيبة الخرافية . فقد بلغ تباعد أقصى المجرات التي رآها تلسكوب جبل ولسون ٢٥٠٠٠ ميل ثانية (أي ٠.١٤ سرعة الضوء) ، ورأى تلسكوب جبل بالومار مجرات تتباعد بسرعة ٤٠٠٠٠ ميل ثانية (أي أكثر من ٠.٢٠ سرعة الضوء) !!!

وبناء على ذلك ، فالمجرات في هذا الكون أيها القارئ ، تشبه النقط المرسومة على سطح بالون من مطاط ، ينتفخ فيه باستمرار ، فتجد النقطة



## الفضاء الصديق

نرى مما سبق أن شكل الكون وحدوده وأطرافه أمر أبعد من أن يحيط به العلم الحديث . غير أن النظريات والنماذج العديدة المتشعبة التي يقدمها العلماء هي بداية البحث في هذا الموضوع الشائك ، وهي جهد مشكور ومحاولة محمودة للوصول إلى هذه الحقيقة المثيرة التي قد لا يصل العلم إلى ادراكها في المستقبل القريب ، هذا إذا كان لنا أمل في ادراكها يوماً ما . وتشعب هذه النظريات واختلاف هذه النماذج يجعل بحث هذا الموضوع بالتفصيل سارجاً عن نطاق الكتاب .

والواقع أننا طرقتنا موضوع الكون في نهاية كتابنا لعلاقة البحث بالفضاء . فالفضاء الذي رافقناه منذ أول فصل ، وسرنا معه صفحة صفحة ، وأصبح صديقاً عزيزاً علينا أثراً لدينا ، والذي عرفناه على حقيقته عندما درسناه عن كتب ، فوجدنا كيف ينكمش ويتحجب ويختلط بالزمان — هذا الفضاء العجيب يجب علينا أن لا نتركه بعد هذه الألفة الطويلة بيننا دون أن نسأل عنه ونعلم مصيره إذا استطعنا إلى ذلك سبيلاً .

ولكننا نجد أنه لا يزال عجبياً في اتساعه ، غامضاً في شكله ، مجهولاً في نهايته . إنه لا يكثر لنا ليخبرنا من أمره شيئاً .

فأينشتين عندما وصفه بالثبات ، لم تدم نظريته فيه طويلاً ، وعندما وصفه بالتحجب الإيجابي ، وأثبت هابل ذلك ، ظهرت علامات استفهام كثيرة حول هذا الثبات .

وعلى ذلك ، فالاسئلة حول حجمه وتحديه الكلي ونهايته وحدوده لا تزال قائمة ، ومن المرجح أن تظل قائمة إلى مستقبل بعيد جداً .

ومن يدري ؟ فقد تظل قائمة إلى الأبد !

الأبد المحذب طبعاً !

## نظرية المجال الموحد

قد يظن القارئ أن أينشتين — بعد أن وضع النظرية النسبية بمفهومها الجديد عن الكون — قد أنهى مهمته ، وقدّم لنا كل ما لديه وفرغت جعبته من زيادة في الحديث .

لكن الامر في الواقع ليس كذلك . فهذا الرجل العظيم ، صاحب النظرية العظيمة ، كان دائماً طموحاً تواقاً إلى الوصول إلى نظرية أعظم ونتيجة أعم وأشمل .

كان يفهم كنه ما قدمه ولكنه كان يطلب المزيد .

لقد بين لنا أن الزمان والمكان غير منفصلين ، وإنما هما مظهران من مظاهر وحدة واحدة ، هي المتصل الزماني المكاني . وكذلك بين لنا أن الطاقة والكتلة وحدة واحدة ، يمكن أن نعتبر احدهما مظهراً للآخرى .

وعلى ذلك ، فإن الوحدات الأساسية الأربع التي تكون جواهر دراسة الكون وقوانينه الا وهي الزمان والمكان والكتلة والطاقة ، قد اختصرها أينشتين إلى وحدتين فقط .

وهذا التبسيط لقوانين الكون كان يدفع أينشتين إلى فكرة أخرى ، قائمة على هذا الأساس ، وإنما في نطاق آخر . فكرة صرف فيها السنوات العشرين الأخيرة من حياته .

كان يبحث عن قانون عام ، يكون الأساس لجميع القوانين التي تفسر القوى الطبيعية التي نعرفها ويكون مصدراً لها .



والناظر إلى ما نعرفه من هذه القوى نجد أن لها قوانين متشابهة تشابهاً يلفت النظر ويسترعي الانتباه .

فقد وضع نيوتن قانون الجاذبية على الشكل التالي :

$$\frac{K_1 K_2}{r^2} \times ثابت$$

حيث  $K_1$  = كتلة الجسم الاول ،  $K_2$  = كتلة الجسم الثاني ،  
 $r$  = المسافة بينهما .

ونجد أيضاً أن قوة التجاذب ما بين شحنتين كهربائيتين مختلفتين حسب قانون كولومب هي كما يلي :

$$\frac{Q_1 Q_2}{r^2} \times ثابت$$

حيث  $Q_1$  = كمية الشحنة الأولى ،  $Q_2$  = كمية الشحنة الثانية ،  
 $r$  = المسافة بينهما .

وبالمثل فإن قوة التجاذب بين قطبين مغناطيسيين مختلفين هي :

$$\frac{M_1 M_2}{r^2} \times ثابت$$

حيث  $M_1$  = قوة جذب القطب الشمالي ،  $M_2$  = قوة جذب القطب الجنوبي ،  $r$  = المسافة بينهما .

ويجب أن نلفت الانتباه إلى أمرين . أولهما : بأن الثابت في كل من هذه المعادلات يختلف عن مثيله في المعادلتين الأخريين . وثانيهما : إننا نعرف أن قوة الجاذبية في المعادلة الأولى دائماً تجذب الكتل إلى بعضها بعضاً بينما هي في الكهرباء والمغناطيس قد تكون جاذبة إذا كانت الشحنتان (أو القطبان) مختلفتين ، وقد تكون العكس إذا كانت

الشحنتان (أو القطبان) متشابهتين ، وعندئذٍ نسميها قوة تنافر لا قوة تجاذب .

وإذا ما قارنا هذه المعادلات نجد أنها موضوعة في الصيغة نفسها ، مع أن كل معادلة تتحدث عن ظاهرة مستقلة لا علاقة لها بالظاهرتين الأخريين . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن هذه المعادلات ، في نشوئها التاريخي ، قد وضعها بالتجربة العملية علماء مختلفون ، كل واحد منهم مستقلاً عن الآخر . وهذا التشابه الغريب يسترعي الانتباه ويوحى بأن هذه الأنواع الثلاثة من القوانين يجب أن تكون فرعاً من قانون أساسي أعم وأشمل .

فما هو هذا القانون الأعم والأشمل الذي هو أساس لهذه المعادلات ؟

وقد استطاع أينشتاين أن يفسر أول هذه القوانين (قانون الجاذبية) على أساس المجال . وكان تفسيره أقرب إلى الصحة من القانون الأصلي الذي وضعه نيوتن . إذن ، فالمجالات تلعب دورها في هذه الظواهر . ألا يمكن ، بناء على ذلك ، أن نجد نظرية مجال موحد يفسر كل هذه الظواهر ؟

ومن هنا جاء اسم هذه النظرية التي اشتغل فيها أينشتاين عقدين من الزمن ، فسميت بنظرية المجال الموحد .

على أية حال ، فيجب أن نعرف أن أينشتاين لم يكن ينبغي من تلك النظرية أن يوحد هذه القوى الثلاث تحت قانون واحد وحسب . إنه كان ينبغي أكثر من ذلك . كان يسعى إلى إيجاد قانون أو بضعة قوانين أساسية تضم تحتها جميع الظواهر الفيزيائية .

ونحن نعرف من تاريخ العلوم أن قوانين الفيزياء عامة في فروعها المختلفة فقد تطورت بطرق مختلفة ووضعها علماء مختلفون . ونتيجة لأبحاث هؤلاء العلماء نشأت لدينا قوانين الحرارة والميكانيكا والبصريات والجاذبية



والكهربية .... إلى آخره . ونحن نلاحظ أيضاً أن العلم كلما اتسعت آفاقه وعمقت أغواره وجدنا أن هناك ترابطاً بين مختلف هذه الفروع . وكلما تقدم بنا العلم وجدنا أن هذا الترابط والتشابك يزدادان باستمرار .

إن فهمنا للعلم على أساس ترابط فروعه يساعد على تقدمنا فيه ، وتقدمنا فيه يجعلنا نرى زيادة في الترابط . وهكذا ، فإننا نجد أنفسنا في حلقة مفرغة خيِّرة ، تنتهي بنا آخر الأمر إلى قانون أو بضعة قوانين أساسية ، هي التي كان يسعى إليها أينشتاين ، تحت اسم نظرية المجال الموحد .

لكن متى سيتم ذلك ؟ هل في بضعة عشرات من السنين أم بضعة مئات ؟ لا أدري .

على أننا إذا ما استطعنا أن نجد نظرية كهذه ، فسنجد أن قوانين الكون في مختلف الفروع ، متناسب ووحدها بيسر دون عناء . وليد ذلك فقط : بل إننا سنصبح قادرين على تفسير قوى طبيعية لا يعرف العلم عنها الآن إلا شيئاً ضئيلاً . كالقوة التي تربط ما بين وحدات نواة الذرة مثلاً ( البروتونات والنيوترونات ) . فنحن نعرف أن البروتونات الموجودة في نواة الذرة تحمل شحنات كهربائية موجبة ، ومع ذلك فإننا نرى أن النواة لا تتحطم بسهولة على الرغم من التنافر الموجود بين الشحنات الكهربائية المتشابهة . بل على العكس ، فإن هناك قوة هائلة جداً تربط ما بين وحداتها ، والحصول على جزء من هذه القوة يعطينا الطاقة الذرية في العصر الحديث . أما ما هو سر هذه القوة ؟ وكيف نستطيع أن نفسرهما ؟ فهذا ما لا نعلم الآن عنه شيئاً . ( لا نستطيع )

وزيادة على ذلك كله ، فإذا وجدت نظرية المجال الموحد ، وتم اكتشاف أسسها ، فمن المنتظر اكتشاف مجالات أخرى وقوى أخرى لا نعرف عنها الآن شيئاً ، ولم تكن لنا في حسابنا . قد يكون هناك مصدر

قريب جداً لتوليد طاقات هائلة من مجال معين . إننا نريد نظرية متينة تشير بأصبعها إليه قائلة : اليكم هذا المصدر وأنتم عنه غافلون . إن نظرية المجال الموحد - التي قضى أينشتاين القسم الأخير من حياته وهو يسعى إلى تحقيقها - تنطوي على أمور كثيرة جداً تستطيع أن تخدم الجنس البشري ، إذا ما أحسن استعمالها ، وقد تكون السبب في فئاته إذا ظل راكباً رأسه كما هو الآن . لكن يبدو أن عصرنا بما فيه من التقدم العلمي الباهر لا يزال متأخراً ، وليس فيه من المنجزات العلمية ما يكفي لتحقيق نظرية المجال الموحد .

مهما يكن من أمر ، فسواء اكتشفت هذه النظرية بعد عشرات السنين أو مئات السنين - وهي لا محالة مكتشفة يوماً ما - فإن العلماء حضارات الاجيال القادمة سوف يعترفون دائماً بفضل ألبرت أينشتاين ونظريته النسبية .



## فهرست

صفحة	
٥	مقدمة
١١	النظرية الغربية
٢٢	المكان في النسبية
٢٨	الزمان في النسبية
٤١	الاثار وسرعة الضوء
٥٨	اختبار ميكلسون ومورلي
٦٧	النظرية النسبية
٧٢	الاثار في النسبية
٧٨	سرعة الضوء في النسبية
٨٦	قوانين النسبية الخاصة
٩٠	القانون الاول : انكماش الطول
١٠٨	القانون الثاني : زيادة الكتلة بتزايد السرعة
١٢٠	القانون الثالث : جمع السرعات

مراجعة  
١٤٠٠  
١٢/٦/٤٠

## مراجع الكتاب

- 1 — One, Two, Three ... infinity, George Gamow.
- 2 — Matter, Earth and Sky, George Gamow.
- 3 — Scientific American, March 1961,  
Gravity — George Gamow.
- 4 — Relativity for the Layman — James Coleman.
- 5 — The Nature of the physical world,  
Sir Arthur Eddington.
- 6 — ABC of Relativity — Bertrand Russel.
- 7 — And there was light — Rudolf Thiel.
- 8 — لنكولن بارنت — محمد عاطف البرقوقي (اقرأ) العالم وأينشتين
- 9 — أينشتين الدكتور محمد عبد الرحمن مرحبا
- 10 — النظرية النسبية الدكتور محمد عبد الرحمن مرحبا



<http://www.hazemsakeek.com>

١٣٠	...	...	...	...	القانون الرابع : الطاقة والكتلة ...
١٤٤	...	...	...	...	القانون الخامس : الزمان في النسبية
١٥٨	...	...	...	...	الزمن هو البعد الرابع ...
١٦٧	...	...	...	...	المسافة في عالم الابعاد الاربعة
٦	...	...	...	...	كيف ينقلب المكان إلى زمان والزمان إلى مكان

## ١٩١ النظرية النسبية العامة : الفضاء

١٩٣	...	...	...	...	...	استعداد ...
٢٠٧	...	...	...	...	...	الفضاء في النسبية

٢١٧	...	...	...	...	...	...	الجاذبية
٢١٩	...	...	...	...	...	...	جاذبية نيوتن
٢٢٧	...	...	...	...	...	...	الجاذبية عند آينشتين
٢٣٧	...	...	...	...	...	...	البراهين

## ٢٤٩ الكون

٢٥٧	...	...	...	...	...	...	هذا الكون
٢٦٤	...	...	...	...	...	...	الكون عند آينشتين
٢٦٥	...	...	...	...	...	...	الفضاء الصديق
٢٦٥	...	...	...	...	...	...	نظرية المجال الموحد